ALTA FIDELIDAD
GIRADISCOS Y CAPSULAS

NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA




NUEVAS
TECNOLOGIAS
BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

ALTA FIDELIDAD
GIRADISCOS Y CAPSULAS



Esta obra es una nueva edición aumentada y corregida de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Electrónica aplicada»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

Apartado de Correos 35432, Barcelona

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-488-0 (Vol. 2)
D.L.: B. 2316-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa   Provenza, 388   08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts   1986

Printed in Spain

Giradiscos y cápsulas

INTRODUCCION

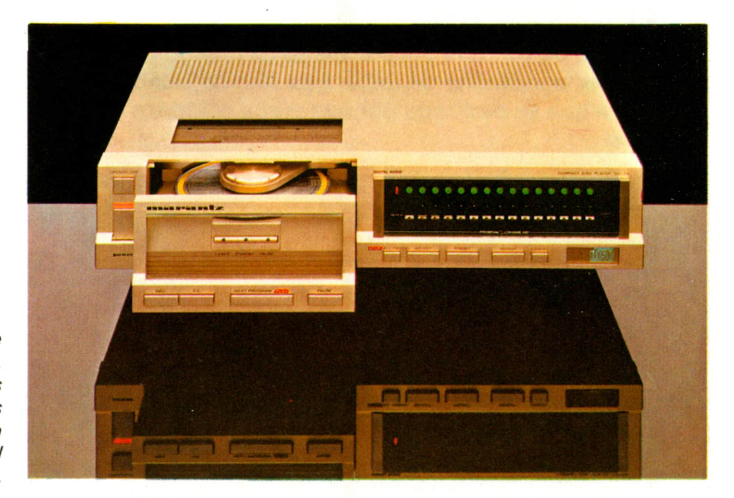
Cuando en 1877 Thomas Edison presentó su fonógrafo no podía imaginar el desarrollo que su invento iba a tener en los años siguientes ni tampoco su difusión actual. Su aparato, precursor de los actuales giradiscos, consistía en una especie de embudo cuyo extremo de menor radio estaba cerrado por una lámina de mica. Esta lámina estaba unida a una aguja que se deslizaba por una placa cilíndrica de metal estañado.



Los predecesores de nuestros actuales giradiscos, fonógrafos y gramófonos tenían, dentro de sus escasas posibilidades tecnológicas, una gran fidelidad de reproducción.

Casi 50 años después, hasta la aparición del fonocaptor eléctrico, los principios propuestos por Edison seguían vigentes. El fonocaptor eléctrico, junto al brazo y el plato giradiscos, transforma las ondulaciones del disco (en estéreo, tanto horizontales como verticales) en señales eléctricas que el amplificador tratará convenientemente para más tarde ser convertidas de nuevo en vibraciones mecánicas por medio de los altavoces.

El giradiscos es el nexo de unión entre el surco del disco y el resto de la cadena hi-fi. Así, de la calidad del giradiscos dependerá la calidad total del equipo. Las perturbaciones que se produzcan en este primer eslabón se transmitirán, amplificadas, al resto del sistema. Por esta razón es muy interesante saber cuáles son los fundamentos del giradiscos, sus partes, cómo cuidarlo y manejarlo, qué criterios de elección debemos seguir, etc. para conseguir el máximo provecho de nuestro equipo de Alta Fidelidad.



Reproductor digital de audio marca Marantz. Como veremos más adelante, estos equipos constituyen una auténtica novedad tecnológica en el campo de la alta fidelidad.

EL GIRADISCOS

Hoy por hoy el giradiscos sigue siendo la fuente de sonido que proporciona mayor calidad de reproducción, a pesar de los esfuerzos realizados con las otras dos fuentes con que cuenta el audiófilo (magnetófonos y FM). La ventaja del giradiscos, además de la cantidad de programas disponibles en disco, es que es proporcionalmente barato, fiable y no necesita costosos mantenimientos.

En las actuales cadenas de Alta Fidelidad se emplean siempre giradiscos, platos o fonochasis (denominados así indistintamente) carentes de amplificadores u otros circuitos para el tratamiento de la señal de audiofrecuencia. Estos giradiscos provienen directamente de los llamados tocadiscos, y difieren de éstos justamente en su incapacidad para

tratar las audiofrecuencias. El fonochasis está concebido para actuar en combinación con otros elementos de la cadena hi-fi, como altavoces y amplificadores.



La cadena de alta fidelidad cuenta, como elemento fundamental con el giradiscos.

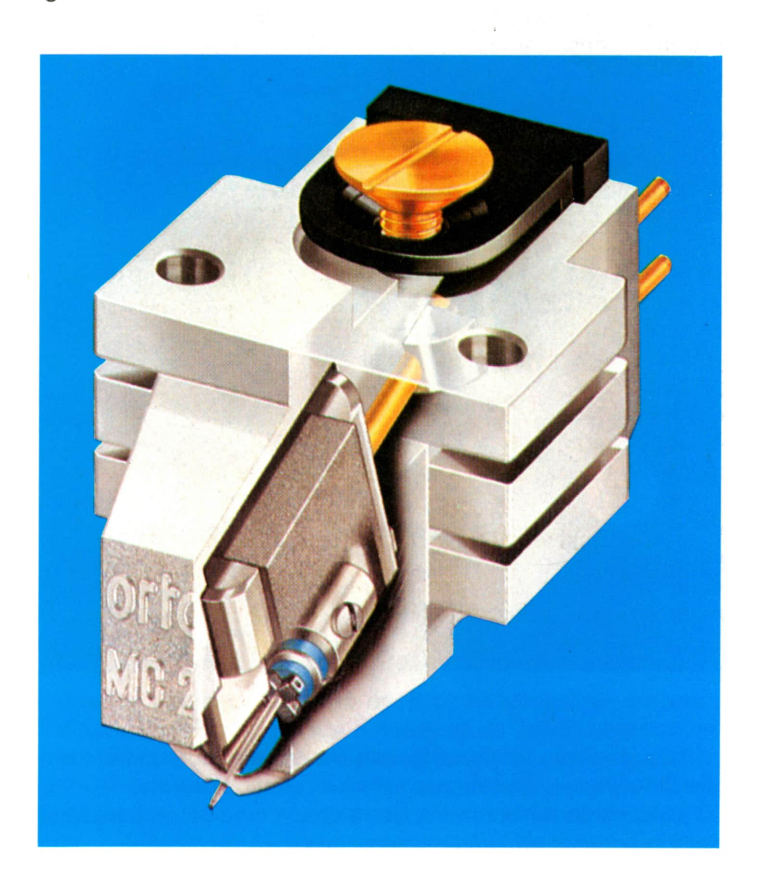
Para analizar el plato giradiscos podemos considerarlo dividido en tres partes que veremos separadamente.
1) La cápsula fonocaptora, que explora los surcos y traduce las vibraciones en señales eléctricas.

2) El brazo, que sostiene la cápsula sobre el disco.

3) El plato propiamente dicho, con su sistema mecánico de arrastre y transmisión.

Muchos giradiscos de gran calidad se consiguen juntando estos tres elementos tomados independientemente, incluso de fabricantes distintos, pues al acoplarlos de forma conveniente entre sí pueden dar lugar a un conjunto cápsula/brazo/plato adaptado al más alto nivel de prestaciones.

Vamos a ver estos elementos por separado con sus características para comprender mejor su funcionamiento, y luego añadiremos los resultados del conjunto llamado giradiscos.



LA CAPSULA FONOCAPTORA

El papel de la cápsula es el de seguir fielmente el recorrido de los surcos de un disco, traduciendo los movimientos mecánicos en señales eléctricas. Así pues, la cápsula es un transductor electromecánico que no debe introducir ninguna señal más que las que corresponden a las sinusoides del microsurco.

En Alta Fidelidad se prescinde prácticamente de fonocaptores piezoeléctricos, fotoeléctricos, etc., caracterizados por su autoecualización. Las cápsulas fonocaptoras del tipo magnético son las más utilizadas, pero vamos a hacer un repaso a los distintos sistemas de transducción mecanoeléctrica que dan lugar a los diversos tipos de fonocaptores utilizados hasta ahora.

El disco microsurco

Puesto que tenemos que hablar de agujas y fonocaptores, se hace necesario comentar también cómo es un disco microsurco, pues es éste el soporte utilizado por los programas musicales reproducidos en un fonochasis.

Un disco es un plástico de compuestos de vinilo prensado y de forma circular que contiene una serie de surcos. El surco de un disco estereofónico es variable en profundidad y anchura, de forma proporcional a las vibraciones acústicas producidas por la fuente sonora. A cada cara del surco le corresponde uno de los canales. El surco forma una espiral a lo largo de todo el disco y la aguja, siguiéndolo longitudinalmente, capta la información contenida en él.

En los discos microsurco existen cientos de surcos por cada centímetro, lo que quiere decir que la separación entre ellos es muy pequeña. El proceso de grabación se lleva a cabo con un buril (aguja de grabación muy cortante) que recorre la superficie de vinilo rayándolo y creando el surco. Esto produce las «deformaciones» que la aguja deberá seguir posteriormente con precisión.

Los sonidos graves producen una oscilación del surco de gran amplitud, mientras que los agudos las producen casi imperceptibles, pudiendo quedar en este caso enmascaradas por el ruido.

La solución se encontró introduciendo en el proceso de grabación un filtro, cuya curva característica se designa con



Cápsula reproductora para plato giradiscos. Modelo V15 de Shure de 1,2 g de fuerza de la aguja.

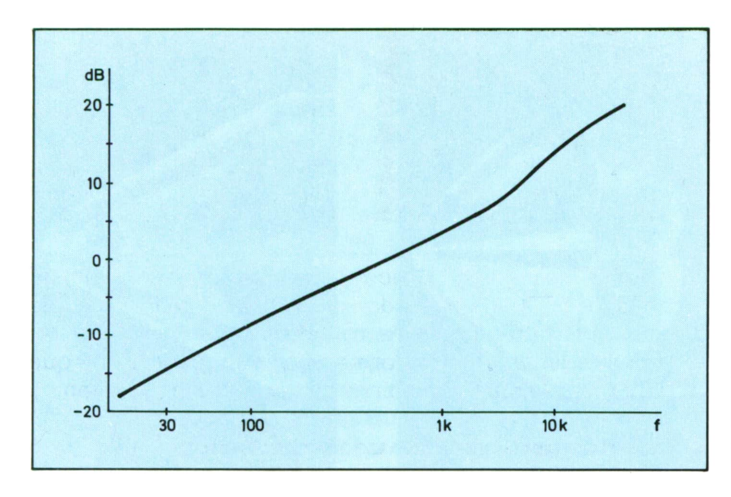
el nombre de RIAA (Record Industry Association of America) y ha sido adoptada por todos los fabricantes de discos. Este filtro introduce un efecto que mantiene las amplitudes del surco casi constantes en la grabación y que luego deberá tenerse en cuenta durante la reproducción.

Conceptos generales en un fonocaptor

La misión más difícil del plato giradiscos se encomienda, precisamente, a la cápsula fonocaptora. La precisión de la aguja de la cápsula deberá ser tal que en los pasajes fortísimos de la música, y por desgaste en el disco o distorsiones, no se salga del surco ni tienda siquiera a hacerlo. Para ello, cada fabricante especifica el margen de fuerza de apoyo con el que la cápsula ofrece su mejor rendimiento. En el diseño de la cápsula la fuerza de apoyo viene determinado por numerosos factores, siendo los más importantes la *compliancia* (elasticidad) y la *masa eficaz.*

A frecuencias muy bajas, será preciso ejercer cierta fuerza para vencer la rigidez que presenta la suspensión del cojinete elástico que sujeta a la palanca porta-agujas, y desplazar así la punta de la aguja de su posición normal. Este es el concepto de compliancia o elasticidad que debe ser lo más elevado posible y que viene dado en cm/dina, moviéndose entre unos valores de $20 \cdot 10^{-6}$ a $40 \cdot 10^{-6}$ cm/dina o superiores.

Todo cuerpo presenta una oposición al movimiento. Es lo que se denomina *inercia.* La fuerza que se deberá aplicar para mover un cuerpo aumentará cuanto mayor sea su inercia. Para medir la inercia aparece el concepto de *masa.* La masa de un cuerpo es una magnitud invariable del mismo. El concepto es el de una masa de inercia que se suele denominar masa dinámica o eficaz.



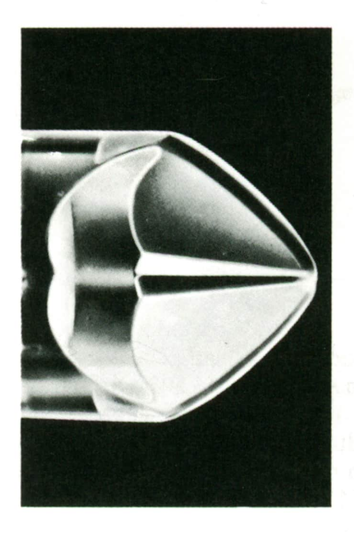
La ecualización RIAA es imprescindible en la reproducción con fonocaptores magnéticos. Esta es su curva característica.

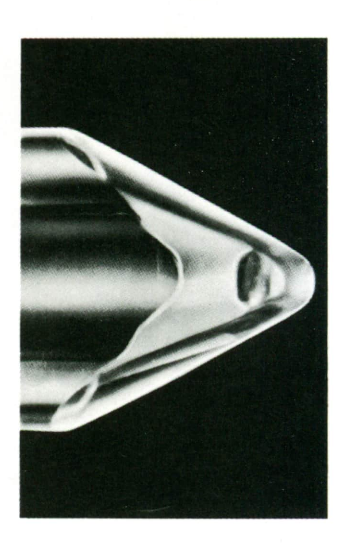
La punta de la aguja, siguiendo las vibraciones correspondientes a los tonos agudos, se acelera y frena a velocidades que aumentan con la frecuencia. Para una frecuencia de 10 kHz la aceleración a que se somete una aguja es de 16 km/s^2. Un viaje de ida y vuelta a la Luna con esta aceleración duraría sólo cinco minutos. En general, a frecuencias superiores a 5 kHz, la rigidez a vencer en la suspensión (elasticidad) pierde importancia en comparación con el sistema mecánico resonante, que está formado principal-

mente por la masa en movimiento de la aguja y el soporte, y determina la frecuencia de resonancia superior del conjunto fonocaptor. Por lo general, todos los elementos que componen el conjunto de la cápsula aportan su masa y lo que interesa es que sean lo más livianos posible.

Todos estos conceptos entroncan con el de habilidad de lectura (en inglés *trackability*), que consiste en la medida de la habilidad de la aguja para mantenerse en contacto con el surco a lo largo de todo el margen de frecuencias a reproducir.

Si la velocidad de grabación es superior o inferior a la habilidad de lectura de la cápsula, aparecen errores de lectura que se traducen en distorsiones, aumento del desgaste de la aguja y deterioro de los surcos.

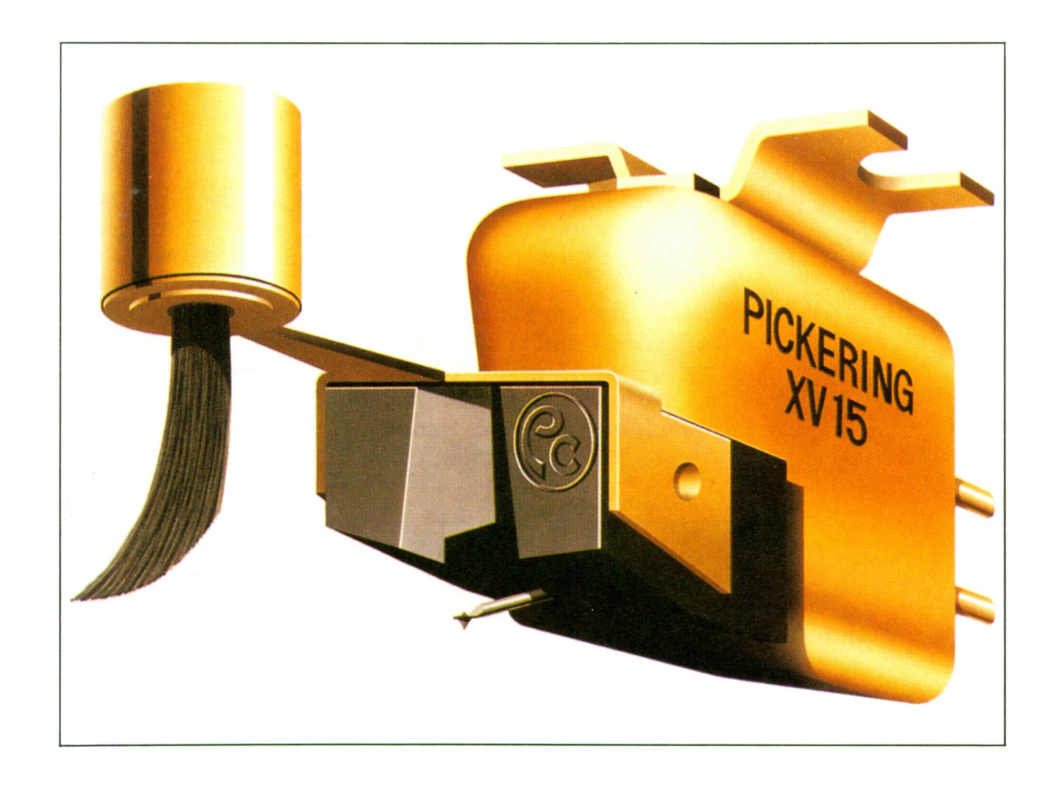




Aquí podemos apreciar dos tipos de tallados muy comunes para agujas de diamante.

La aguja

La aguja es la única parte de la cápsula fonocaptora que debe entrar en contacto con el surco del disco. Así, debe ser de tamaño muy reducido y de gran dureza para evitar el desgaste. En su construcción se han utilizado diversos materiales, pero en la actualidad se fabrican de zafiro y diamante generalmente.



Cápsula de imán inducido a cuatro bobinas. Este modelo incorpora un cepillo limpiador del surco. (Cortesía: Pickering).

El diamante ha sido el elemento escogido habitualmente en la fabricación de agujas para Alta Fidelidad. Las agujas se fabrican a partir de piedras o astillas de diamante. El diamante es el elemento más duro que se conoce (más que el zafiro) y se desgasta mucho más lentamente. Su vida de trabajo útil puede oscilar entre 150 y 350 horas. La aguja de diamante puede adquirir una de estas formas según sea su tallado:

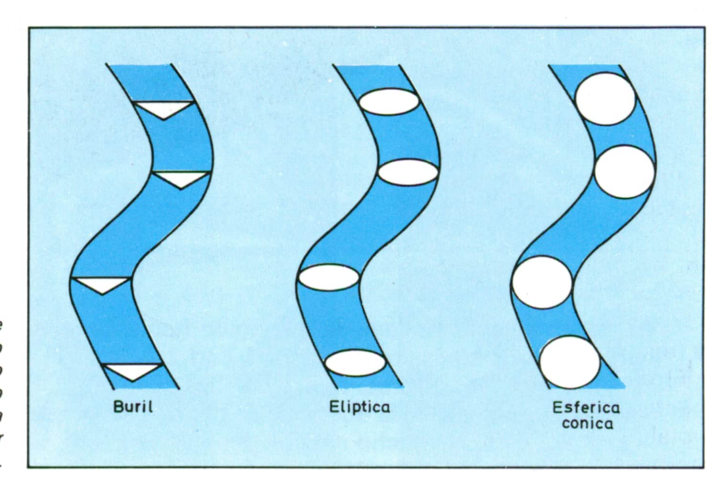
— Radial: cónicas y esféricas.
— Birradial: elípticas.
— Multirradial: perfil punzante («fine line»).

Las de tipo cónico fueron las que se desarrollaron primeramente y aún hoy se usan porque su tallado es muy sencillo y, por tanto, el más económico. En el seguimiento del surco este tipo de aguja es el que menos se aproxima a la forma del buril (aguja grabadora) y, en consecuencia, el que

introduce una mayor distorsión en la información. Aunque no ofrece resultados insatisfactorios, tiene defectos importantes como el efecto de punteo y las distorsiones producidas en la reproducción estereofónica debido al error de fase entre canales (efecto de contacto).

El efecto de punteo aparece como consecuencia de la forma en que se grabó el disco. El surco del disco sin modulación tiene la misma amplitud que el buril, pero no así cuando hay modulación, pues se desplaza paralelo a los flancos. Esto producirá una anchura variable del surco y la aguja cónica tendrá que subir y bajar en su lectura, dando lugar al efecto de punteo.

La distorsión de contacto se produce cuando al desplazarse la aguja por el surco varían las superficies de contacto, cosa que no ocurre con la punta de la aguja grabadora.



Las distorsiones de contacto aparecen cuando no se sigue el recorrido del surco tal como lo hizo la cabeza grabadora (buril). El error es mayor si la aguja es esférica.

Estos problemas, casi inapreciables en un disco monofónico, multiplican sus efectos en los discos estéreo al modular el surco tanto horizontal como verticalmente. La solución a estos problemas es, lógicamente, hacer que las agujas reproductoras sean lo más parecidas posible a la grabadora, pero sin llegar a ser tan cortantes. Así nacen las agujas birradiales (elípticas) y multirradiales.

Las agujas elípticas reducen considerablemente los inconvenientes que presentan las cónicas, al explorar el

surco de forma más eficaz. Estas agujas se denominan también birradiales para señalar la existencia de dos radios, uno en el extremo inferior de la aguja y otro en el punto de contacto con la cara del surco. Con el nacimiento y difusión (no muy amplia) de los discos cuadrafónicos se hicieron imprescindibles estas agujas, pues tienen la necesaria capacidad para reproducir frecuencias altas, por encima del margen audible, donde está la portadora de la modulación para los canales posteriores (por encima de 40 kHz). De cualquier forma, estas nuevas necesidades también influyeron en el desarrollo de las agujas multirradiales. Entre ellas destaca la Shibata, llamada así en honor a su inventor. La idea de éste era aumentar la superficie de contacto para evitar las presiones mecánicas y los desgastes del plástico debidos a la temperatura que se alcanza en la fricción surco-aguja. Esta aguja lee frecuencias por encima de 50 kHz, imposibles de conseguir en tallas radiales y difícilmente con agujas elípticas. La aguja Shibata y otras como la Quadrahedral, LAC, Pramanik, etc. tienen el inconveniente de la dificultad de tallado que redunda en su elevado coste. Algunas de estas multirradiales se podrían considerar como elípticas evolucionadas.

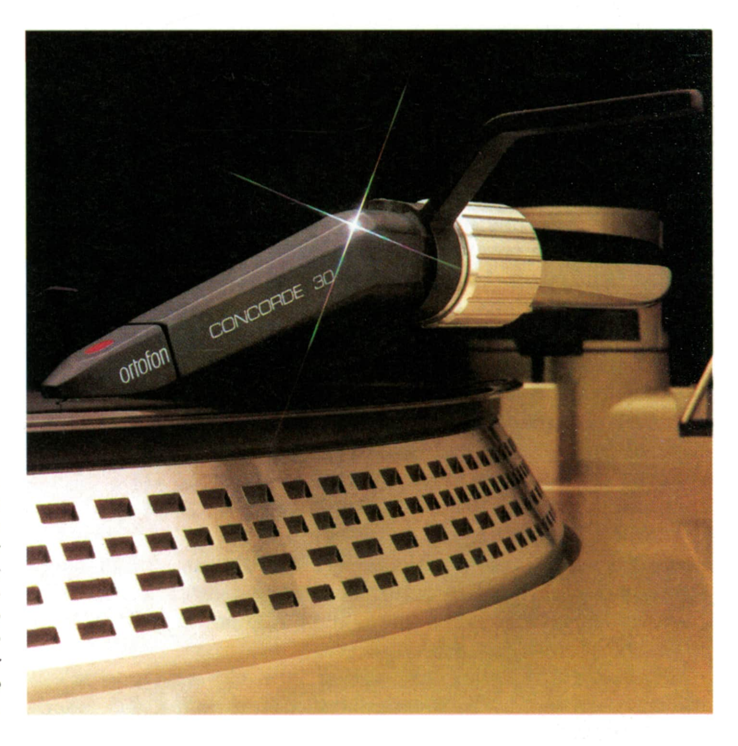
Otras investigaciones han dado como resultado agujas hiperelípticas (utilizadas en estereofonía) o hiperbólicas, con nuevos diseños que pretenden reducir las presiones entre punta y surco, disminuir la distorsión, aumentar la relación señal/ruido y combatir los negativos efectos de punteo y contacto para acercarse así a la perfección total en la reproducción del disco.

El desgaste de cualquier aguja debe vigilarse periódicamente para evitar la consecuente deformación de discos (totalmente irreparable). Apreciaremos el desgaste por la progresiva pérdida de brillo en el sonido. Normalmente se deberá cambiar la aguja cada 300 ÷ 350 horas de uso (para agujas de diamante), si no se desea poner en peligro la integridad de los discos. Además, deberá limpiarse a menudo para evitar la acumulación de polvo o grasas que entorpecerían la correcta exploración del surco.

El cantilever

Es éste un elemento de la cápsula que muchas veces se

olvida y cuyos efectos son muy importantes en el resultado final. La palanca porta-agujas, espárrago o cantilever es la barrita que soporta la aguja tallada y transmite los movimientos de la misma al cristal, hierro dulce, imán o bobinas (según sea el tipo de fonocaptor).



Cantilever de baja masa, modelo Concorde 30 de Ortofon. El poco peso permite una mejor adaptabilidad a las características del surco sin que ello suponga una presión excesiva sobre la aguja que podría dar lugar a una deformación de ésta.

Una de las principales características del cantilever debe ser la rigidez para no amortiguar las vibraciones de la aguja. A consecuencia de la combinación de masa y rigidez en el sistema mecánico, siempre habrá una determinada frecuencia para la cual entrará en resonancia y dará lugar a una reproducción con volumen excesivo. Esta frecuencia, de bajo valor, debe estar fuera del margen audible y ser de amplitud mínima. De cualquier forma, este efecto originará una distorsión de intermodulación al combinarse con las altas frecuencias.

Otra característica importante es la ligereza. El espárrago debe ser lo más liviano posible, pues el conjunto aguja-soporte conforma la llamada masa dinámica o eficaz de la cápsula, que debe ser mínima.

El cantilever suele estar construido de aluminio, titanio, berilio o componentes similares. En la actualidad las preferencias se encaminan hacia el berilio y el aluminio por su ligereza y robustez.

La palanca porta-agujas está unida al resto de la cápsula con un bloque rígido de material plástico, a veces llamado elastómero, que soporta el conjunto sin deformarse y sin amortiguar las vibraciones transmitidas por la aguja. Esta almohadilla elástica debe soportar las vibraciones de la palanca alejando su frecuencia de resonancia de la banda audible. Debe ser resistente al envejecimiento, rígida para bajas frecuencias y más elástica para las altas.



Tocadiscos automático de calidad que va provisto de un brazo de baja masa. (Cortesía: Onkyo).

La unión de la palanca portadora con la aguja puede efectuarse de varias formas. Hasta ahora se utilizaba mucho el sistema consistente en encasquillar el diamante en el soporte por incrustación o mediante encolados.

Las agujas de mayor calidad llevan el cuerpo tallado de

forma cuadrangular para su incrustación en la palanca, se evitan así alineaciones equivocadas que dan lugar a una cierta distorsión muy común entre las agujas encasquilladas, con ello se asegura mejor la reproducción.

DIVERSOS TIPOS DE FONOCAPTORES

Vamos a tratar de analizar los distintos sistemas que se han venido utilizando para convertir el movimiento del conjunto móvil de la cápsula fonocaptora en señales eléctricas. Esta conversión mecano-eléctrica es la que convierte a los fonocaptores en transductores.

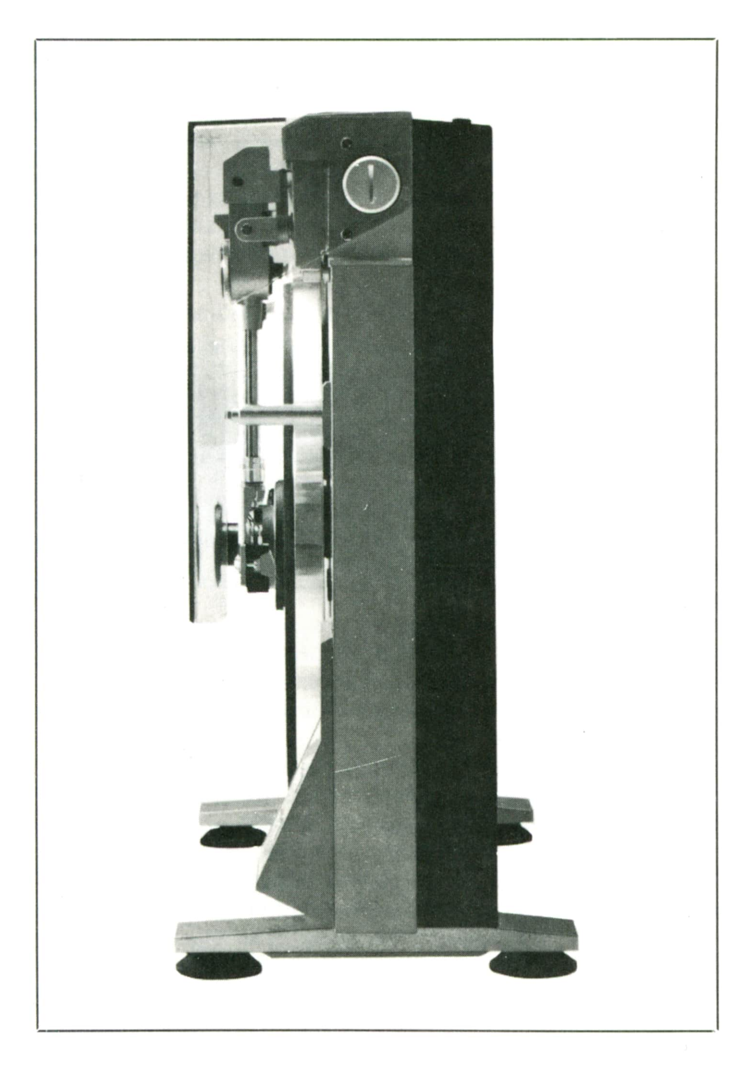
El primer requisito indispensable para la correcta conversión es que, durante el proceso, no se añada ninguna otra señal indeseable a la información contenida en las vibraciones del cantilever. El segundo requisito será obtener un rendimiento suficientemente elevado para evitar pérdidas en la información (sobre todo en pasajes pianísimos). En caso de que la cápsula de una salida muy baja (poca sensibilidad) será necesario amplificar mucho la señal para conseguir los niveles que se requieren en la entrada de los preamplificadores estándar.

El fonocaptor no debe recoger ruidos ni zumbidos externos que deformarían la señal básica, debe ser robusto, fácilmente intercambiable y de fácil y mínimo mantenimiento.

La aguja, además, se debe extraer con facilidad para su sustitución y el precio del conjunto debe ser mínimo, cumpliendo todos los requisitos exigidos. Esto resulta sumamente difícil y por eso se han investigado y desarrollado todos los sistemas de transducción que se puedan imaginar. Se investigó el fonocaptor a carbón, de extensímetro, a válvula, de permeabilidad variable, etc., sistemas que ya no se utilizan y que no vale la pena comentar.

Otros tipos, tales como los de condensador, de semiconductores o fotoeléctricos, aunque no son de extendida utilización pueden volver a ponerse de moda en cualquier momento si, gracias a los rápidos avances tecnológicos, se superan las dificultades por las que se relegaron a segundo término.

Finalmente veremos los fonocaptores piezoeléctricos (cerámicos y de cristal) y magnéticos, que son los más ampliamente utilizados y difundidos.

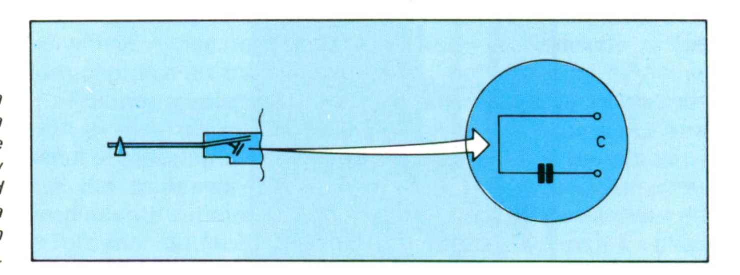


Giradiscos Mitsubishi LT-5V de apoyo vertical y brazo lineal. Aunque no es frecuente, este modelo permite posicionar verticalmente el plato, y por consiguiente el disco.

El fonocaptor de condensador

Para los ya iniciados en el tema, recordarán que existían unos micrófonos cuyo principio también se basaba en el fenómeno capacitivo. El desarrollo de ambos, fonocaptores y micrófonos, fue paralelo. Estos fonocaptores constan de una aguja sujeta por el espárrago a un diafragma

montado frente a una placa fija polarizada. Ambas, forman un condensador cuya capacidad variará según el tamaño de las placas y su separación. La forma de convertir esta variación de capacidad en señal eléctrica se puede llevar a cabo de diversas maneras. Una de ellas, por ejemplo, se basa en que la variación producida en el condensador al moverse la aguja se utiliza para modular un oscilador de radiofrecuencia; la señal se demodula a continuación y a partir de ahí el proceso sigue normalmente.



El fonocaptor a concensador se basa en la propiedad capacitiva de dos placas metálicas muy juntas. Su capacidad queda modificada si una de las láminas sufre un desplazamiento.

La utilización del electret evitó parte del problema de la polarización exterior, pero aunque existen algunas cápsulas con este principio no se han desarrollado lo suficiente y se encuentran difícilmente.

Estas cápsulas son sensibles a la amplitud del desplazamiento de la aguja y dan una señal de salida proporcional a la amplitud de las oscilaciones del surco.

Así como el micrófono a condensador ha llegado a ser de los de mejor calidad, el fonocaptor basado en este principio no resulta práctico por necesitar elementos asociados y ser de construcción muy compleja y delicada.

El fonocaptor a semiconductor

Estos fonocaptores se desarrollaron paralelamente a los de extensímetro y se basan en el mismo principio. Su principal inconveniente es que, al igual que los de condensador, necesitan de polarización exterior.

Se basan en las variaciones de resistencia que presentan algunos cristales semiconductores, como el silicio o el germanio, bajo la acción de presiones mecánicas inducidas por la aguja en su oscilación.

Entre las ventajas están su elasticidad (del orden de $30 \cdot 10^{-6}$ cm/dina), así como su excelente respuesta en frecuencia (a veces supera 50 kHz) y su buena relación señal/ruido. El futuro de estas cápsulas puede ser prometedor si siguen los avances en el campo de los semiconductores y circuitos integrados.

El fonocaptor fotoeléctrico

Este tipo de cápsulas emplea un sistema de conversión basado en la modulación de luz que, procedente de un foco luminoso solidario al espárrago (una pequeña lamparilla), se proyecta sobre el surco y su reflexión la capta un fototransistor que genera una tensión proporcional a las oscilaciones «leídas».

El sistema, que se desarrolló hace algunos años, tiene una gran sensibilidad y pequeña distorsión, pero posee el inconveniente de la corta duración de la lamparilla y de la necesidad de que el fototransistor esté precisamente alineado con el eje del surco, pues en caso contrario aparecen toda clase de distorsiones ajenas al disco, empeorando la relación señal/ruido.

El fonocaptor piezoeléctrico

Las cápsulas piezoeléctricas son las más antiguas y usadas. Se llaman también fonocaptores de cristal y son de alta impedancia. El fenómeno descubierto por Curie, que se denominó piezoelectricidad, consiste en que al aplicar una presión mecánica sobre un material que posea esta propiedad éste se carga eléctricamente. Y a la inversa, al aplicarle una tensión eléctrica sufre una deformación.

Los fonocaptores de cristal constan de dos láminas de cristal piezoeléctrico pegadas entre sí. Estas láminas suelen ser de cristal de Rochelle, Seignette, turmalina, fosfato dihidrogenado, o titanato de bario, plomo o circonio. Las láminas están sujetas por un extremo, mientras que por el otro se unen al espárrago por medio de una especie de estribo. (figura 14).

Al desplazarse la aguja en su exploración del surco, transmite su movimiento al cantilever, el cual a su vez torsiona la placa de cristal. De esta forma se modifica la carga del cristal generando una tensión eléctrica. Las

cápsulas piezoeléctricas, al igual que las anteriores, son sensibles a la amplitud del desplazamiento de la aguja.

Los dos elementos cerámicos son rígidamente sujetados a uo soporte por uno de sus lados y por sus otros extremos están unidos a un yugo de acoplamiento a la palanca portaagujas que transmite los movimientos de torsión a los cristales.

La palanca portaagujas tiene en su extremo interior un ensanchamiento de caras planas para segurar el ángulo de lectura, y en su parte delantera, no representada en la figura, un soporte de goma que fija la palanca en posición.

El principal inconveniente de estos fonocaptores es la fragilidad del cristal y el hecho de que les afecta de gran manera el calor y la humedad. Por ello se suelen recubrir de barnices o gelatinas que además amortiguan las resonancias propias de estos materiales.

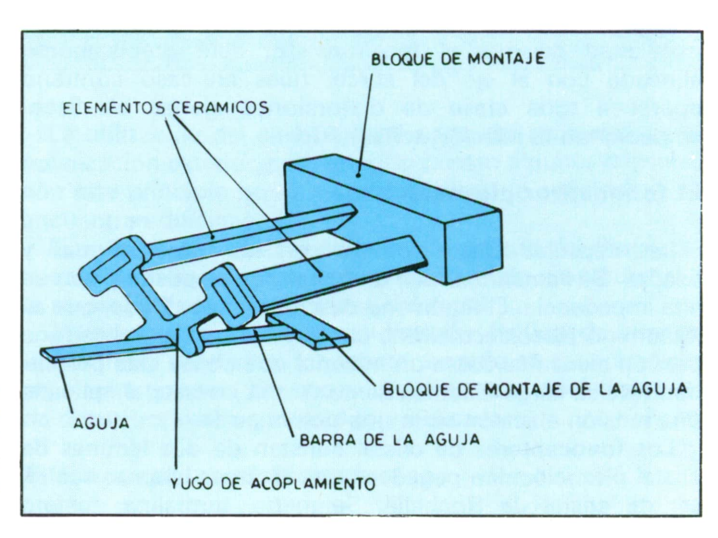


Figura 14. Esquema de una cápsula piezoeléctrica en donde se observan simplificados los principales elementos que la forman.

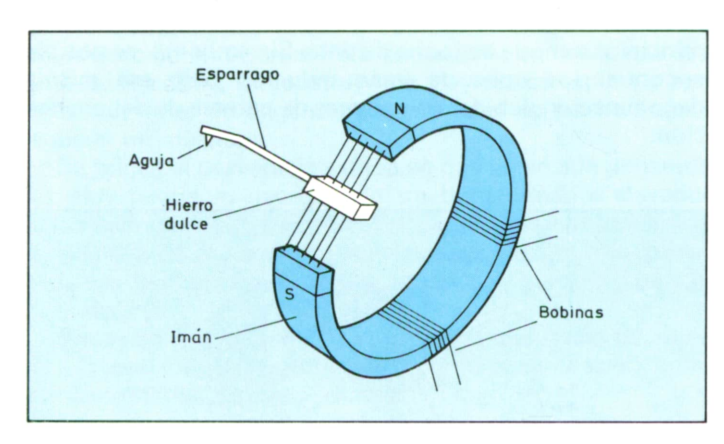
La cápsula piezoeléctrica más utilizada es la cerámica, igual a la de cristal pero no tan susceptible a los cambios de temperatura y humedad.

Las ventajas de estas cápsulas son la alta tensión de salida que proporcionan, su insensibilidad a zumbidos y ruidos exteriores y su económica construcción, motivo por el que se

utilizan preferentemente en tocadiscos, aunque no en equipos de Alta Fidelidad. Su impedancia de carga suele ser de 1 a 2 MΩ.

Su alta salida de tensión permite ahorrar pasos de amplificación en el equipo. Puede trabajar con giradiscos de baja calidad por su insensibilidad a los zumbidos o fugas del motor.

En los equipos estéreo el fonocaptor proporciona una salida doble de tensión, que no es preciso ecualizar en la entrada del amplificador ya que estos dispositivos son de amplitud constante.



Sistema de imán inducido. El hierro dulce que va asociado a la aguja queda dentro del entrehierro del imán; su fuerza magnética depende de la magnitud de la corriente que pasa por las bobinas.

El fonocaptor magnético

En las anteriores cápsulas la señal eléctrica de salida era de tensión proporcional a la amplitud del desplazamiento de la aguja. Las cápsulas magnéticas, en cambio son sensibles a la velocidad del desplazamiento, por lo que su salida es proporcional a la velocidad con la que la aguja explora el surco. Esta velocidad aumenta proporcionalmente a la frecuencia y para tonos agudos se hace imprescindible la utilización del filtro RIAA a fin de equilibrar todas las frecuencias reproducidas. Por el contrario, los tipos anteriores no lo necesitaban y los llamábamos autoecualizados.

Las leyes fundamentales de la inducción magnética, enunciadas por Lenz y Faraday a mediados del siglo pasado, se basan en que toda variación en el flujo magnético que

atraviesa un circuito conductor produce en éste una corriente llamada inducida. Estos principios dieron lugar a los fonocaptores magnéticos que se utilizaron predominantemente hasta 1.940, fecha en que fueron relegados a un segundo plano por los cerámicos. Los problemas de peso y calidad que presentaban fueron el motivo de la pérdida temporal de popularidad. Con el nacimiento de la Alta Fidelidad y gracias a los desarrollos de materiales magnéticos artificiales de alta densidad recuperaron su importancia y, hoy en día, su utilización en la reproducción de sonido hi-fi es plena y total.

Todos los fonocaptores magnéticos pueden llamarse también de reluctancia variable, pues utilizan los mismos principios aunque de forma distinta. Sin embargo, es posible encontrar los tipos de imán inducido bajo esa misma denominación debido a problemas de patente de denominación.

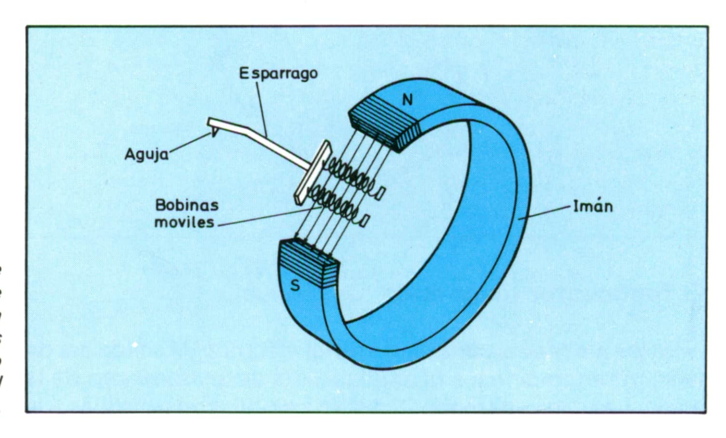


Figura 16. Esquema de un sistema fonocaptor de bobina móvil. En esta ocasión las bobinas móviles quedan dentro del campo magnético del imán.

En la actualidad se pueden agrupar los tipos existentes de cápsulas magnéticas en tres básicos:

1) Sistema de bobina móvil.
2) Sistema de imán móvil.
3) Sistema de imán inducido.

Esta agrupación nos indica qué es lo que conforma la parte posterior del conjunto móvil descrito como cantilever/aguja. Esta palanca lleva algo más asociado en el

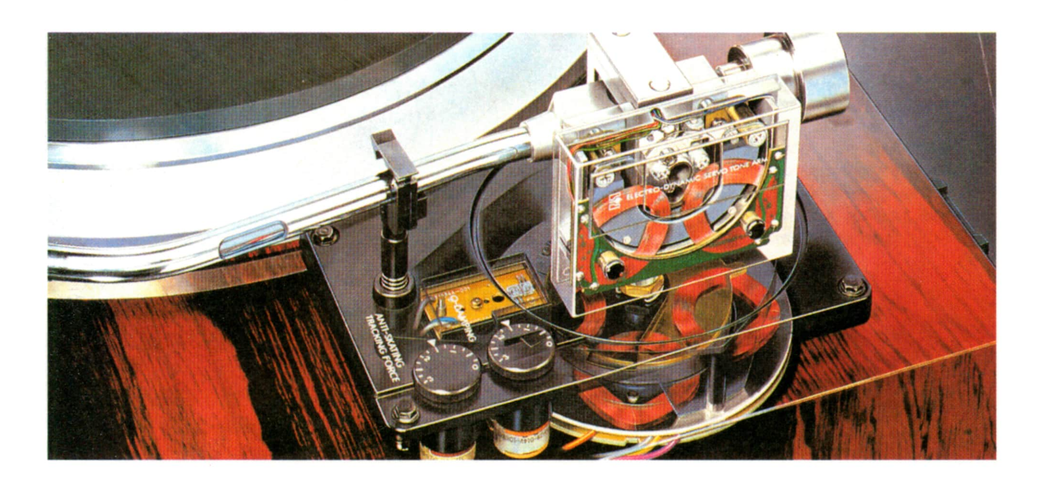
extremo contrario a la aguja y será, respectivamente, una bobina, un imán normal o un imán inducido.

Sistema de bobina móvil

El sistema presentado por Ortofón en 1948 se sintetiza en la figura 16. Podemos ver unas bobinas asociadas al espárrago que se sitúan entre los dos polos de un imán. En posición normal el campo magnético cruza las bobinas sin inducir ninguna corriete. Al variar la posición a causa de las vibraciones recogidas por la aguja se induce en las bobinas una corriente que las recorre, apareciendo una tensión en sus extremos. Cada bobina representa un canal de la reproducción en estéreo. Para conseguir que la cápsula sea liviana, la bobina se construye de muy pocas espiras y con hilo muy fino, no llegando el peso total de las bobinas a superar un miligramo.

Su principal desventaja estriba en que la tensión generada es muy pequeña, necesitando un transformador elevador o también un preamplificador. En los equipos más modernos se dispone de una entrada especial para este tipo de cápsula. Además, el intercambio de la aguja es muy complejo para el usuario.

Estas cápsulas tienen una excelente respuesta en frecuencia (sobre todo en agudos) y magnífica separación entre canales, siendo su masa eficaz muy baja.



Vista en detalle de un servobrazo electrodinámico antideslizante que proporciona resultados excelentes en la reproducción de discos (Cortesía: JVC).

Sistema de imán móvil

En este tipo de cápsula un pequeño imán, lo más potente posible, está asociado al cantilever y al moverse modifica el flujo magnético que atraviesa las bobinas fijas donde se produce una variación de corriente (figura 18). En este sistema el problema más importante a superar es el peso del imán asociado a la palanca para conseguir una bajísima masa dinámica. Pero la reducción en el peso del imán también reduce su efecto y, en consecuencia, disminuye el nivel de salida.

Afortunadamente, es un sistema que consigue buenos resultados gracias al desarrollo alcanzado en la producción de imanes.

Hay algunas variantes que en lugar de uno emplean dos imanes. Así, con el mismo efecto, el peso total de ambos es inferior al imán único. Además, se eliminan aún más las resonancias mecánicas y se mejora la separación entre canales. El proceso de fabricación es, sin embargo, más costoso.

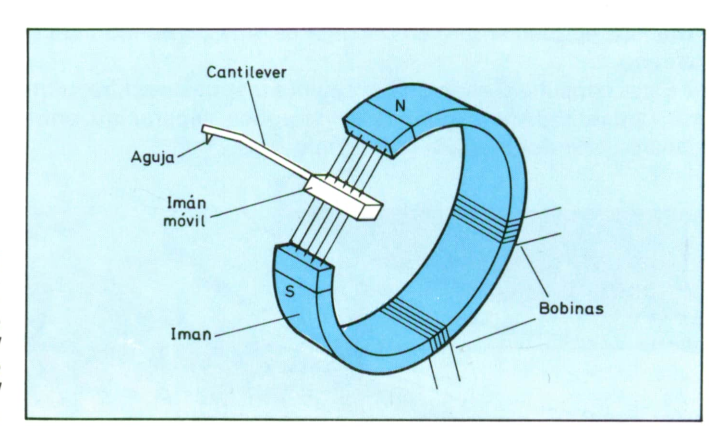
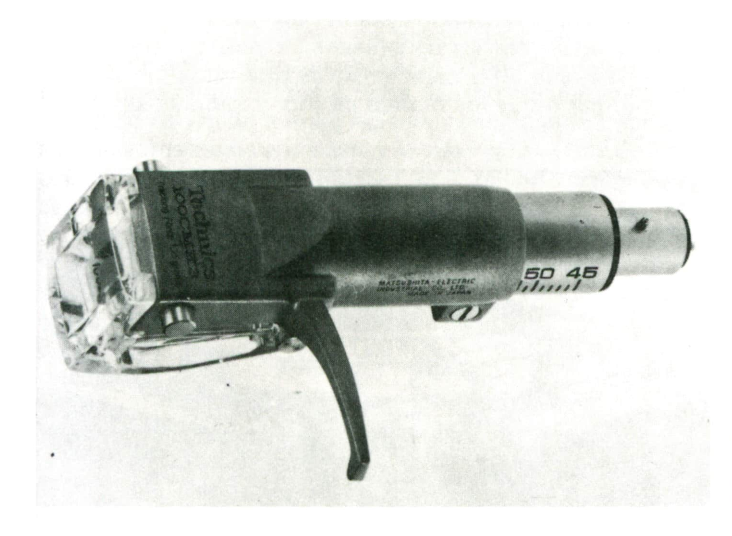


Figura 18. Sistema fonocaptor de imán móvil. En este dibujo simplificado puede verse que el imán asociado al cantilever puede moverse libremente dentro del campo del imán.

Sistema de imán inducido

Los problemas que introducían los sistemas de bobina móvil (baja sensibilidad) e imán móvil (excesiva masa efectiva) se vieron solucionados en 1.960 cuando ADC introdujo el sistema fonocaptor denominado de imán inducido.

El principio es el mismo que en los sistemas anteriores. La cápsula dispone de un potente imán o de varios fuera del conjunto móvil. En la palanca se incluye una pequeña lámina de mu-metal (hierro dulce) de muy baja masa, el cual no siendo un imán adquire sus propiedades al inducírselas el imán exterior. Estos fonocaptores también se conocen con el nombre genérico de reluctancia variable o hierro móvil.



La cápsula magnética se utiliza exclusivamente en alta fidelidad. Puede apreciarse la complejidad del sistema de contrapeso y protección.

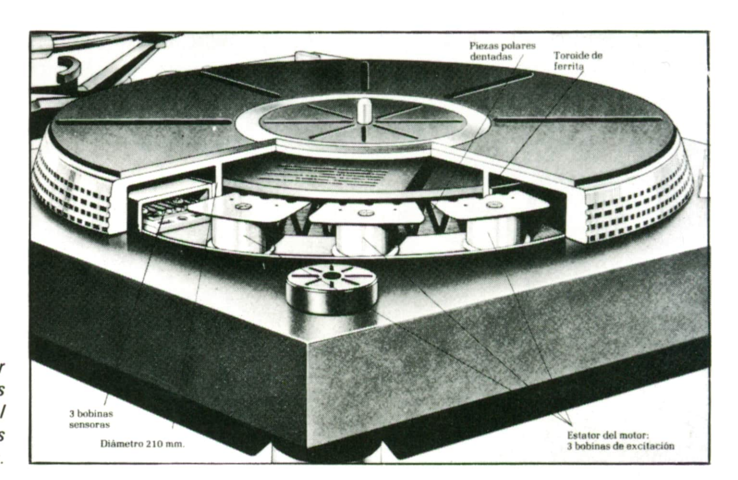
Los imanes exteriores se utilizan también para evitar zumbidos parásitos exteriores. Las carcasas se conectan a masa para neutralizar aún más la captación de ruidos extraños. Al ser la masa eficaz muy reducida la cápsula puede trabajar con baja fuerza de apoyo, circunstancia que mejora la habilidad de lectura, aunque tiene un límite inferior.

Una de las variantes más interesantes la presenta el sistema de microcruz móvil (MMC) del fabricante danés B & O; este sistema consiste en disponer el hierro dulce en forma de cruz, cerrando el circuito magnético. Con este procedimiento se consigue reducir la distorsión armónica y aumentar la separación entre canales, aunque no permite la cómoda sustitución de la aguja por el propio usuario.

Características de un fonocaptor magnético

El equipo de Alta Fidelidad está limitado por el componente de menor calidad. Por ello vale la pena invertir suficientemente en la adquisición de la cápsula para no limitar el resto de elementos.

Para elegir la cápsula deben analizarse cuidadosamente sus parámetros y características, y tener en cuenta que, a veces, los datos facilitados por el constructor omiten parte de información por no beneficiarle. A simple vista pueden parecer mejores unas características que otras, pero debemos estudiar todos los puntos de forma meticulosa.



Plato giradiscos de Fisher en el que se aprecian las bobinas sensoras, el estator del motor y las piezas polares.

Respuesta en frecuencia

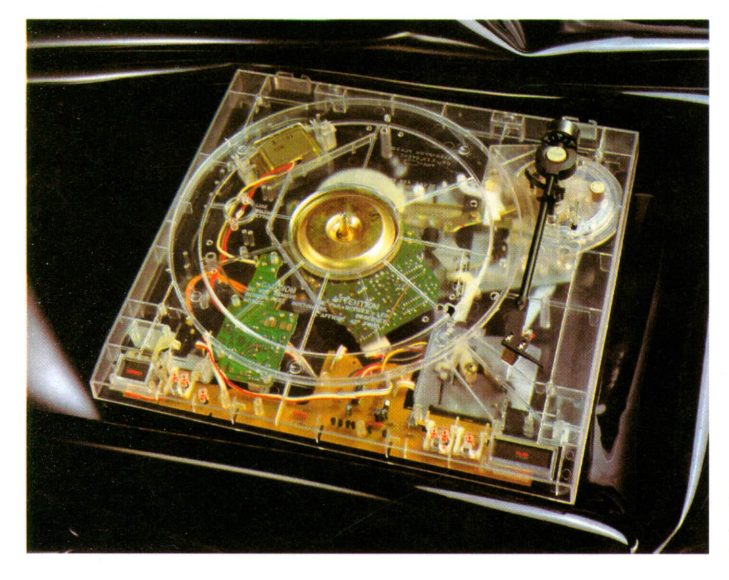
La respuesta en frecuencia (en inglés «frequency response») indica la capacidad del fonocaptor para reproducir un margen determinado de frecuencias y, por tanto, cómo será la reproducción. Esta característica debe contener necesariamente el margen de variación, expresado en decibelios, de la frecuencia a la que responda una mayor amplitud y la frecuencia en la que ésta es mínima. Normalmente esta curva se facilita con la ecualización de grabación corregida, siendo mejor cuanto más plana.

En cápsulas estereofónicas bastará que los límites indicados estén comprendidos entre 20 Hz y 20 kHz, indicándose la variación máxima en decibelios que se experimenta en todo el margen (por ejemplo, ±1 dB, ±3 dB). La respuesta será mejor cuanto menor sea la cifra que indica el margen de variación.

Fuerza de apoyo

Según el diseño de la cápsula, el fabricante especifica los límites máximo y mínimo de fuerza de apoyo («tracking force») dentro de los que se puede trabajar. Cuanto menor sea el límite inferior mejor debe ser la cápsula, aunque la fuerza de apoyo de trabajo no será normalmente la mínima, sino una intermedia entre ésta y la máxima. Fuerzas de apoyo por debajo de 0,75 g indican una buena calidad de la cápsula.

La fuerza de apoyo o presión viene determinada por muchos factores, entre los que hay que destacar la *compliancia* o elasticidad y la *masa eficaz* de la punta de la aguja en movimiento; la elasticidad influye en las frecuencias bajas, mientras que la masa eficaz influye en las frecuencias altas.



Montaje sobre un chasis transparente del giradiscos PL 400 S de Pioneer.

Para determinar el margen de la fuerza de apoyo el constructor tiene en cuenta la masa dinámica del conjunto móvil, por lo que este dato informa indirectamente de otros.

Separación entre canales

Con la separación entre canales («channel separation») se indica la interacción entre señales de un canal y de otro. Si este valor fuese muy pequeño se tendría una pobre separación entre las informaciones leídas en una cara del surco y en la otra. La información de un surco saldría por los dos canales a la vez, sin tener la correcta noción de estereofonía.

Distorsión de intermodulación (IMD)

En la reproducción de sonido no existen los tonos puros, sino un conjunto de sonidos complejos y simultáneos que se interfieren mutuamente dando lugar a la distorsión de intermodulación. Debido a esta influencia entre las vibraciones aparecen otras oscilaciones iguales a la suma y diferencia de las originales, en caso de que exista la distorsión.

Puesto que los sonidos musicales se componen de una vibración fundamental y de sus correspondientes armónicos, y en una orquesta o conjunto hay varios instrumentos que se oyen a la vez, la distorsión por intermodulación puede llegar a ser molestísima y se admite como valor máximo para cápsulas un 0,5 %. Esta medida se realiza con un disco de prueba que contiene sonidos puros grabados con diferencias de amplitud. Puesto que la amplitud no es constante y la velocidad de la aguja varía (siendo máxima en el extremo exterior del disco), se especifica la velocidad de medida y en qué banda de frecuencia se da el dato.

Punta de la aguja

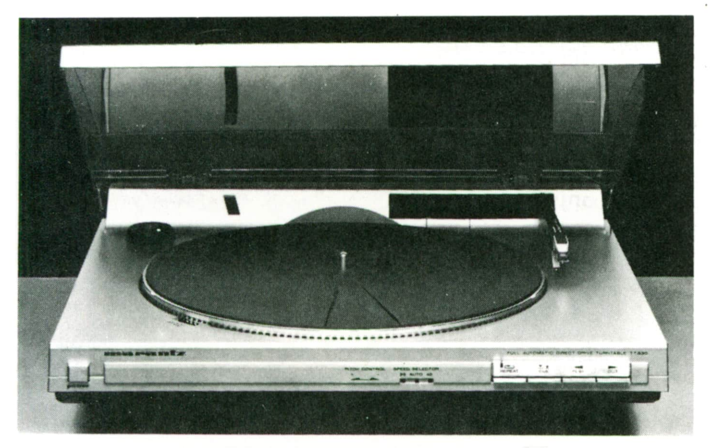
Es necesario tener exacto conocimiento de la forma de la punta y del tamaño, así como de la forma de su montaje. El tamaño y la forma influyen en la habilidad de lectura de la aguja. Si el fabricante dispone de un tallado especial que aumente la superficie de contacto, se destacará entre las características.

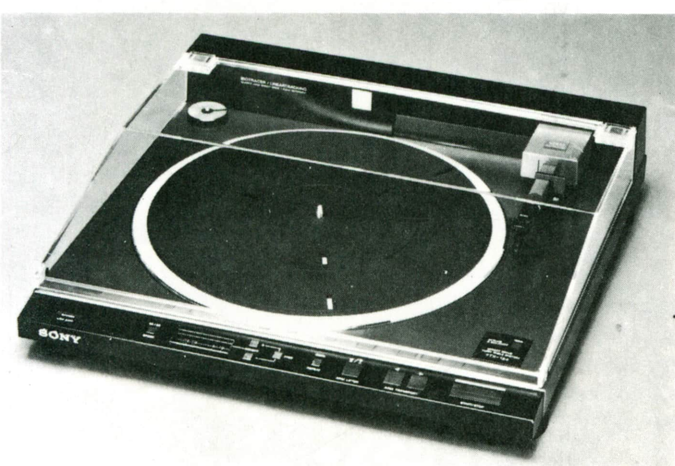
Masa eficaz de la punta

Se expresa en gramos y debe ser la menor posible. El valor máximo admisible es de 1 mg.

Compliancia

La elasticidad o compliancia indica la capacidad de lectura de la aguja a bajas frecuencias. Ya comentamos que cuanto mayor sea este valor mejor será la calidad de la cápsula.





Los brazos con desplazamiento lineal o tangencial, como es el caso de los dos modelos expuestos, están imponiéndose en un mercado que busca por encima de todo la calidad de sonido.

Habilidad de lectura

Esta es una de las características más importantes de cualquier fonocaptor y nos informa de la capacidad de éste para seguir correctamente la señal grabada en el surco para todo el margen de frecuencias audible. Es, lógicamente, variable según la fuerza de apoyo. Viene expresada en centímetros por segundo (cm/s) y será mejor la cápsula que mayor habilidad tenga.

Las cápsulas que tengan menos de 28 cm/s no deben tomarse en consideración.

Equilibrio entre canales

La separación entre canales informa de la interacción de un canal sobre el otro, mientras que el equilibrio («channel balance») nos da una idea de cómo responden ambos canales a diversas frecuencias.

Se suele dar una curva de cada canal solidaria a la respuesta en frecuencia, y se busca que uno y otro canal respondan de la forma más parecida posible a una misma frecuencia.

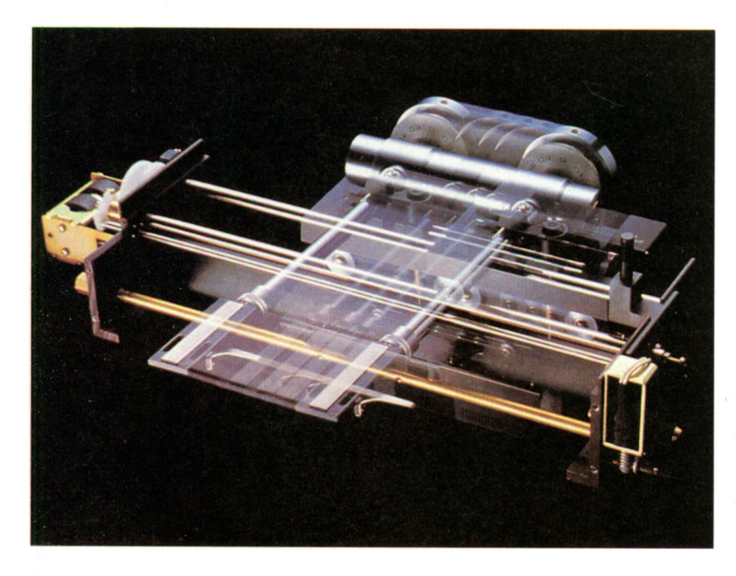
Tensión de salida

Como su nombre indica, la tensión de salida («output



Entre los brazos de trayectoria radial deben distinguirse los rectos y en forma de «S». Ambos sistemas buscan la mejor respuesta tanto al inicio como al final del disco.

voltage») nos dice la cantidad de señal eléctrica que nos proporcionará la salida de la cápsula y que servirá para excitar el preamplificador. Esta tensión variará con la velocidad de la aguja (característica propia de los fonocaptores magnéticos) por lo que se refiere a una determinada (usualmente 3,54 cm/s). El valor mínimo que debe proporcionar una cápsula es de unos 3 milivoltios, pues por debajo de este valor deben emplearse transformadores elevadores. Entre los valores de 3 y 7 mV la salida es aceptable. Las diferencias de la tensión de salida de distintas cápsulas, ocasionan que en un mismo preamplificador sea necesario modificar el mando de volumen (ganancia) para obtener un mismo nivel sonoro.



Brazo de desplazamiento tangencial de Pioneer. En la fotografía queda reflejada la sucesión de movimientos a lo largo de las guías.

EL BRAZO

El brazo del giradiscos tiene como función principal la de mantener la cápsula fonocaptora siguiendo el recorrido de la aguja por el surco del disco, sin aportar distorsión ni resonancia alguna. El brazo debe ser un instrumento de gran precisión debido a las fuerzas de apoyo con las que se trabaja actualmente.

El brazo posee básicamente un movimiento horizontal y vertical que le permite seguir el surco en todas sus sinuosidades. La fuerza que mueve al brazo sale del apoyo de la aguja en el surco, con lo que deben reunirse una serie



Plato giradiscos estereofónico con dispositivo directo de control a base de circuitos electrónicos PLL (Cortesía: Pioneer).

de condiciones: una gran rigidez con mínima inercia (con lo que se consigue baja frecuencia de resonancia), gran suavidad en el movimiento, error de lectura mínimo, empuje lateral nulo y buen equilibrio.

Movimiento del brazo

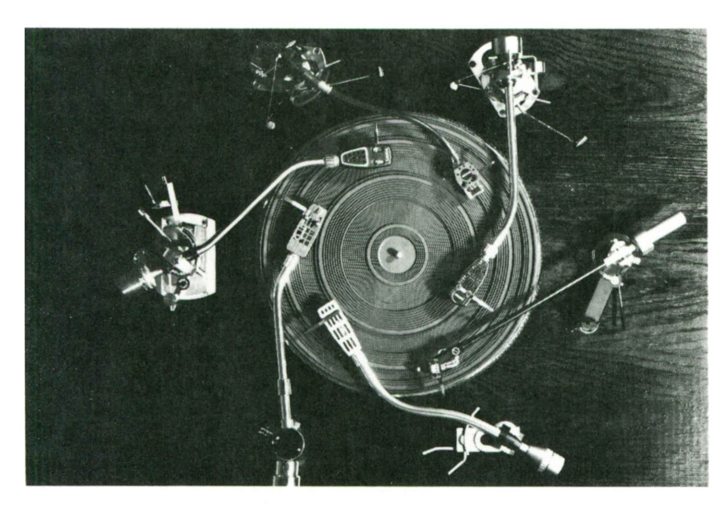
El movimiento del brazo más importante se realiza en el plano horizontal en su seguimiento del surco. Como veremos, este movimiento influye en el error de lectura. Normalmente se trata de un desplazamiento radial en el que la aguja describe un arco de circunferencia y que corresponde con formas del brazo rectas o en «S». El otro sistema que está tomando fuerza en el mercado, si bien su precio es superior al anterior, es el de movimiento lineal, en el que la aguja traza un radio del disco.

Brazo con desplazamiento radial

Este sistema de brazo es el más extendido entre los giradiscos convencionales. El brazo está dotado de movimiento alrededor de los ejes vertical y horizontal, que le permiten seguir el surco. La fuerza de apoyo de la aguja se regula desde un contrapeso situado en el extremo del brazo opuesto a la cápsula, cerca del pivote. Es, pues, un brazo pivotante.

Brazo con desplazamiento tangencial o lineal

El brazo, que se desplaza linealmente, va montado sobre un carro que se desplaza por unos rieles impulsado por un



Amplio muestrario de brazos rectos y en forma de «S» para giradiscos.

motor servocontrolado. Su utilidad radica en que evita el ángulo que se forma entre el eje del brazo y el eje tangente al surco (en el movimiento radial) y, por tanto, el error de lectura.

Otras ventajas del sistema son que el brazo es más corto, y por consiguiente más ligero, y no necesita de fuerza compensadora del empuje lateral.

Error de lectura

Al desplazarse un brazo convencional sobre el disco la

punta de la aguja describe una circunferencia al girar alrededor del pivote, de forma que el eje del brazo forma un pequeño ángulo (error de lectura) con la tangente al surco en el punto de contacto (figura 27). Este ángulo no es constante y aumenta según se acerca la aguja al centro del disco. Esta diferencia de posición entre el buril grabador y la aguja reproductora da lugar a distorsiones directamente proporcionales al error de lectura e inversamente proporcionales al radio del punto en cuestión. Las dimensiones del brazo bien calculadas pueden minimizar esta distorsión. La primera solución a este problema apareció con los brazos acodados y en «S». Este brazo curvado presenta, sin embargo, problemas de peso, inestabilidad, insuficiente rigidez y coste.

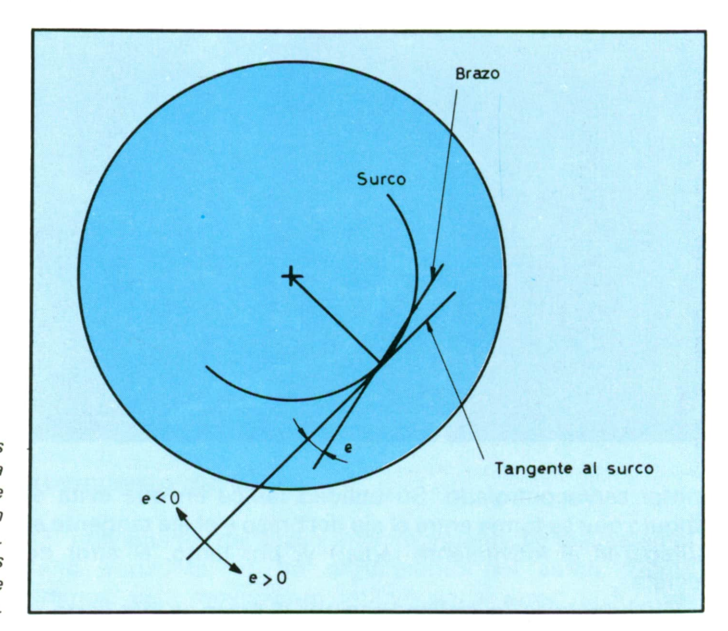


Figura 27. Los brazos radiales tienen una distorsión de lectura que aumenta con el ángulo en el que ésta se efectúa. Los brazos lineales contrarrestan este problema.

Fuerza lateral o «skating»

La fuerza lateral se presenta debido a la especial configuración del brazo radial y consiste en un empuje lateral hacia

el centro del disco. Así, el canal izquierdo del surco recibe más presión de la aguja y más desgaste, mientras que por el contrario, el canal derecho distorsiona por insuficiente presión. La mayoría de giradiscos incorpora un control que corrige el efecto de «patinaje» de la aguja, denominado «anti-skating», compensándolo con una fuerza igual pero de sentido contrario.

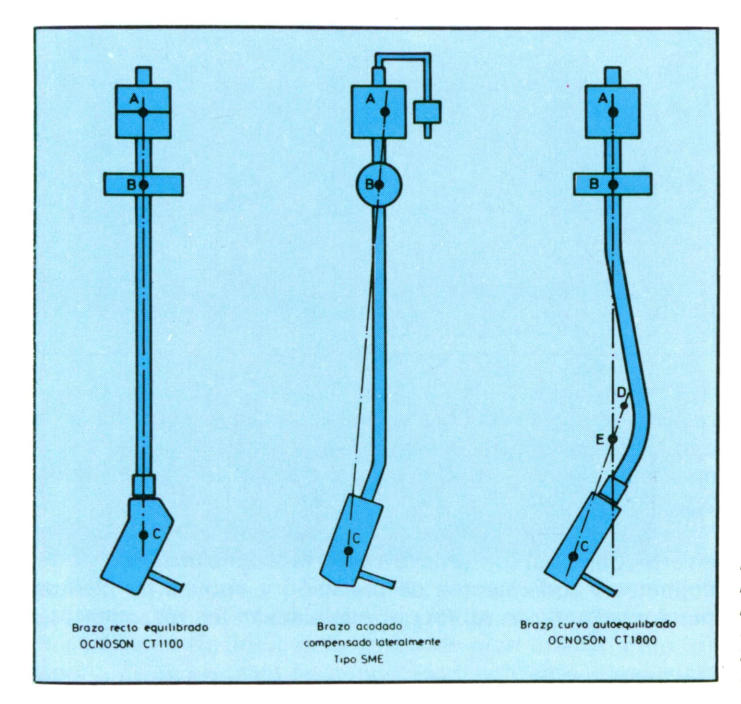


Figura 28. Los brazos más estables son los rectos, pues los acodados o en forma de «S» introducen un desequilibrio.

Materiales y mecánica del brazo

Los materiales con los que se construye un brazo deben escogerse meticulosamente para conseguir a la vez la ligereza y rigidez exigidas por éste. La forma que da mayor rigidez con la mínima sección es la de tubo. Así, se ha adoptado generalmente el brazo construido con tubo de latón, aluminio, o incluso fibra de vidrio (aún más ligera).

El brazo debe estar equilibrado sobre sus dos ejes y,

lógicamente, su centro de gravedad debe coincidir, en equilibrio, con el punto donde se cortan ambos ejes. En el eje horizontal el equilibrio se consigue gracias a la actuación sobre el contrapeso posterior. Para lograr el equilibrio vertical el brazo debe construirse lo más simétrico respecto a este plano. El ángulo de acodado o la forma en «S» introducen un desequilibrio (figura 28).

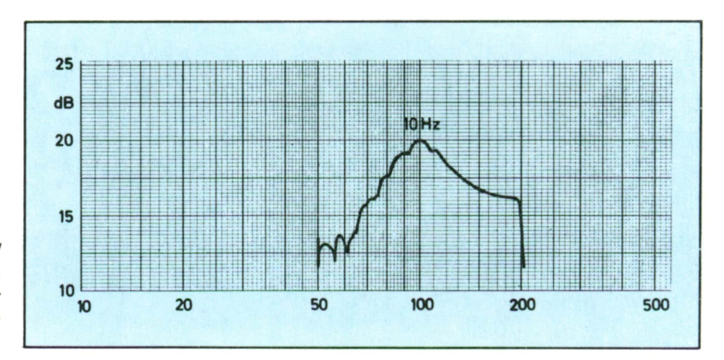


Figura 28. El valor del pico de resonancia brazo-cápsula debe estar por debajo del margen audible.

Parte de la masa del brazo descansa sobre la aguja, por lo que presenta una frecuencia de resonancia que debe ser lo más baja posible, a poder ser por debajo de 15 Hz (figura 29).

La finura de movimiento que requiere el brazo se consigue en el pivote. La unión se lleva a cabo mediante un conjunto de cojinetes y rodamientos de precisión y apoyos de piedras preciosas (zafiro o rubíes) que minimizan los rozamientos.

EL PLATO

El elemento mecánico que soporta el disco y le imprime la velocidad exacta para la correcta reproducción es el plato. Veamos lo más importante sobre este tercer componente del giradiscos.

Materiales

Los platos actuales se fabrican con aleaciones de materiales férricos o antimagnéticos. Las primeras represen-

tan un blindaje ante posibles campos de dispersión del motor y del transformador, que podrían afectar a la cápsula. Los segundos evitan la interacción del campo magnético del imán de la cápsula sobre el plato (si fuese de material férrico). El blindaje propio de las cápsulas elimina este tipo de problemas.



Secuencias que se observan en el desplazamiento del brazo del giradiscos automático CP-1000 A de Onkyo.

Puesto que el plato debe oponerse el máximo a la variación de velocidad, debe gozar de gran inercia. Pero lo importante en un plato no es su peso físico, sino cómo está repartido dicho peso. Lo que cuenta en el plato es el llamado momento de inercia, que observa el peso y la distancia al centro de giro de dicho peso.

El motor y la tracción

Veamos los diferentes sistemas con los que puede conseguirse el movimiento del plato y los distintos tipos de motores que se usan comúnmente en giradiscos. Una característica común a todos los motores y sistemas de tracción es la consecución de un movimiento lo más

uniforme posible, muy silencioso y sin que se transmitan vibraciones.

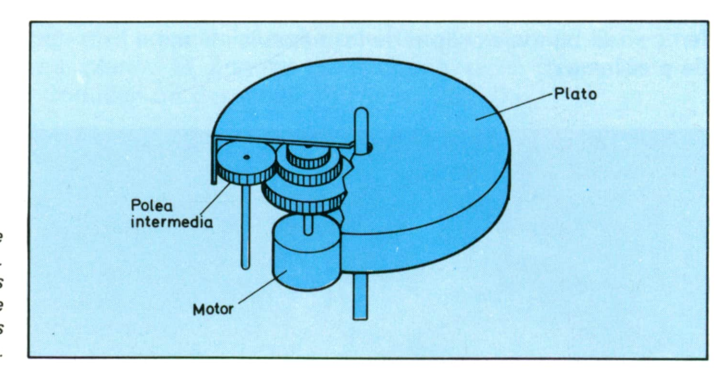


Figura 31. Sistema de transmisión por poleas. Un juego de varias poleas acciona el plato para que pueda girar a distintas velocidades.

Transmisión por poleas

En este sistema aparece una polea escalonada, con varios diámetros, solidaria al eje del motor. La transmisión entre el eje del motor y el plato se realiza mediante una polea móvil, llamada polea intermedia o de arrastre, cuyo borde se apoya simultáneamente en la polea del motor y en el faldón interior del plato. La selección del diámetro adecuado de la polea escalonada se realiza con el mando exterior, que regula las revoluciones del plato (figura 31).

Este sistema está ya en desuso, pues la polea intermedia no

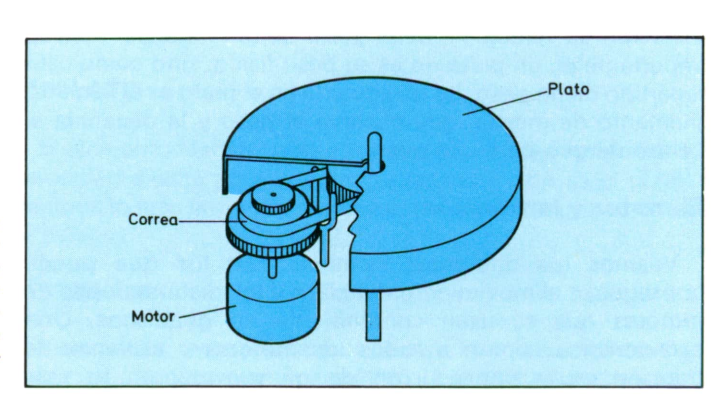


Figura 32. Sistema de transmisión por correa. La polea intermedia que acciona el plato va unida al eje del motor por una correa que se acopla a poleas de diferentes tamaños.

amortigua perfectamente las vibraciones del motor, que se transmiten a la cápsula.

Transmisión por correa

Se basa en la utilización de una correa para la transmisión del movimiento del motor al plato. La correa enlaza el plato con una polea situada en el eje del motor. Este sistema representa una mejora considerable en la eliminación de las vibraciones transmitidas al plato. La correa puede ser de sección variable, está fabricada en caucho y se pule en su cara activa para evitar irregularidades en la tracción.

Transmisión directa

Como su nombre indica, es un sistema en el que el propio eje del motor es el encargado de transmitir la velocidad de rotación necesaria al plato. En principio el sistema es el más sencillo de todos, aunque los motores deben ser bastante complejos. Debe tratarse de motores muy elaborados, pues de lo contrario todos los ruidos y vibraciones que se produzcan se transmitirán sin ningún obstáculo al plato.

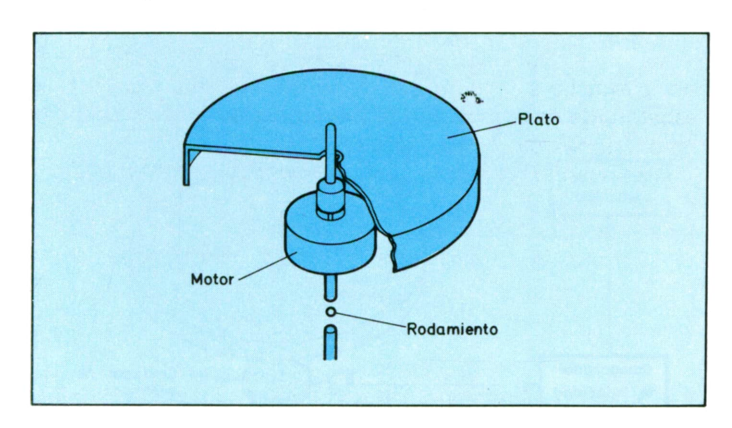


Figura 33. Sistema de transmisión directa. El motor arrastra directamente el plato.

Motor asíncrono o de inducción

Este tipo de motores se utilizó ampliamente hace años y en la actualidad está en desuso. Es un motor de corriente alterna y su principal inconveniente es que su velocidad depende de factores externos, tales como la tensión de

alimentación o su frecuencia, esto los hace poco exactos e inestables. La palabra asíncrono significa que no están sincronizados con la frecuencia de la red. Habitualmente constaban de 2 o a veces 4 polos, que eran electroimanes cuyas polaridades cambiaban cien veces por segundo. Con estos cambios de polaridad se inducía una inversión en el rotor (parte móvil del motor) y el consecuente giro.

Motor síncrono

Estos motores son como una variante de los anteriores. Ahora se incluye un imán que sincroniza con la frecuencia de la red. Así, estos motores dependen únicamente de la frecuencia de la red, de exactitud comparable a la de un reloj. La velocidad de giro del motor depende del número de polos que tenga. En la actualidad, el número de polos utilizados varía entre 8, 12, 16, 24, 48 y 120 (prácticamente equivale a uno de corriente continua). Cuando el número de polos no es suficiente, la velocidad real del motor debe ser excesiva y aparecen vibraciones indeseables cuyo efecto entra dentro del margen audible. La solución está en emplear más polos o motores de corriente continua.

Una variante de estos motores es la de utilizar un generador auxiliar de frecuencia. Para conseguir una

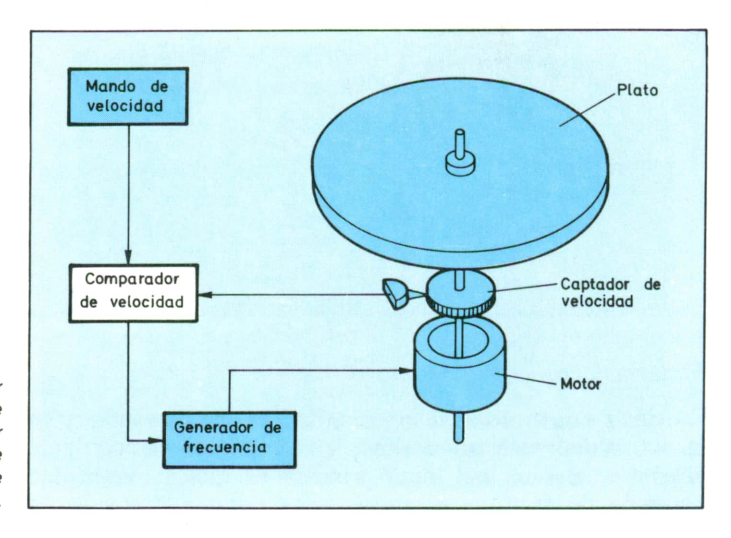


Figura 34. El motor síncrono puede regularse mediante un oscilador regulable que consigue una buena precisión de giro.

velocidad determinada de rotación basta con seleccionar la frecuencia adecuada (figura 34).

Motor de corriente continua

En la actualidad son los que ofrecen un mayor rendimiento y su utilización se está generalizando. Se alimentan con tensión continua de 6 a 12 V que se obtiene normalmente de la red (mediante previa transformación, rectificación, filtrado y estabilización). La regulación de la velocidad no se lleva a cabo mediante aplicación de la tensión directa, sino que se intercala un regulador que puede adquirir diversas formas.

Un sistema muy utilizado consiste en producir una frecuencia proporcional a la velocidad de giro. La información se suministra al registrador electrónico, que la compara con una frecuencia de referencia intentando hacer mínima la diferencia.



Minicadena de Hi-Fi de la fima Sony. Las minicadenas tienden a popularizarse cada vez más, obteniéndose con ellas una excelente reproducción musical.

La introducción en este circuito de un PLL es decisiva para obtener un correcto mantenimiento de la velocidad de giro.

La velocidad de giro y su ajuste

El correcto mantenimiento de la velocidad de rotación se lleva a cabo de diversos modos. Veamos los dos métodos más utilizados:

Control por generador tacométrico

El sistema es similar al explicado anteriormente con el motor de corriente continua y se denomina «unitorque». Consiste en un oscilador adosado al motor que da una frecuencia (o una tensión) proporcional a la velocidad de giro. El regulador altera la velocidad hasta que la frecuencia (o tensión) que se recibe es igual a la de referencia.

Control por banda magnética

Aquí la velocidad de giro se controla mediante una banda, adosada al borde interior del plato, que es «leída» por un cabezal. Este cabezal magnético detecta los impulsos grabados en la banda y da una señal que se compara con un patrón. Siempre se intenta que la diferencia sea la mínima y el regulador actúa sobre el plato para variar su velocidad hasta que se consiga (figura 36).

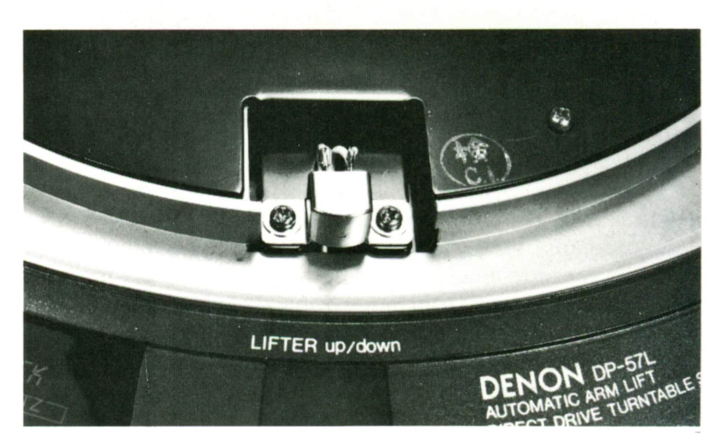


Figura 36. Un cabezal magnético es el encargado de «leer» la banda magnética que hay en el interior del plato. Es útil en la regulación de velocidad y en su ajuste fino.

En general, todos los sistemas se basan en detectores de velocidad que dan una señal proporcional a ésta, la cual se compara con valores de referencia.

En muchos modelos de giradiscos se puede conseguir un ajuste fino de velocidad (*pitch control*) con el que se logra una mayor precisión de giro. El usuario está asistido por un disco, llamado estroboscópico, que permite ajustar la velocidad con precisión.



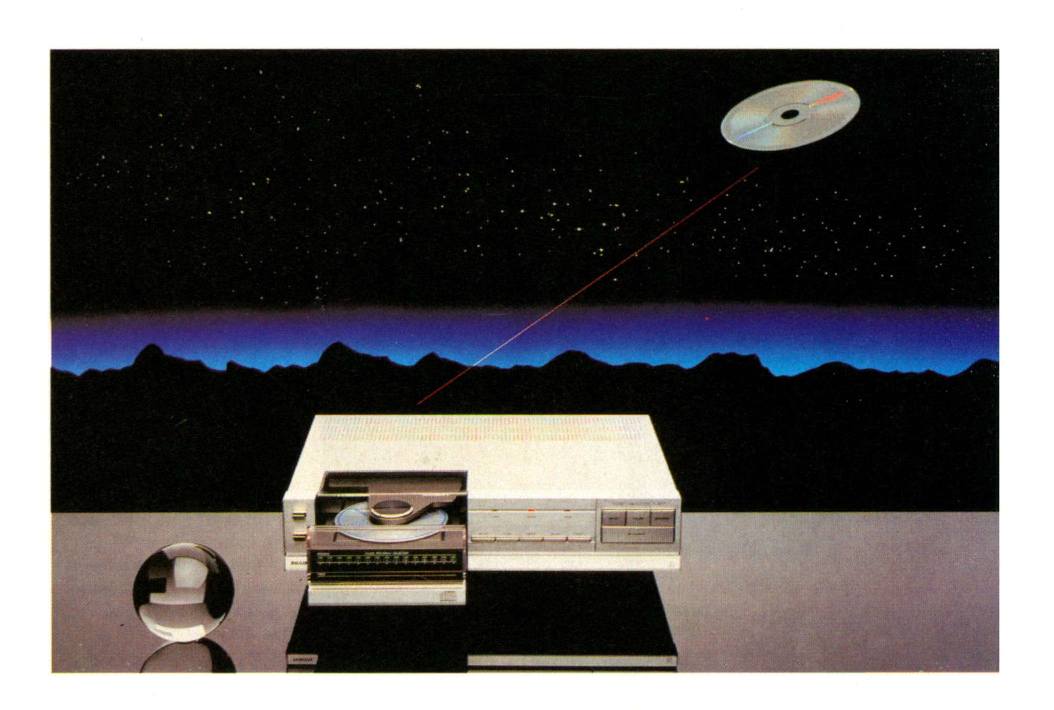
Plato giradiscos de Sharp con selector musical de programación automática. Incorpora un doble brazo y permite el gobierno mediante un mando a distancia por infrarrojos.

La suspensión

Los distintos tipos de suspensión (por pies amortiguadores, mecánica suspendida, por muelles, flotante, etc.) intentan bloquear el paso a las vibraciones producidas exteriormente al giradiscos. La eficacia que presenta un sistema de suspensión depende principalmente de la calidad de los materiales empleados en ella. Así como las prestaciones de un giradiscos no presentan problemas, en el tema de las suspensiones cada fabricante tiene algo que decir y no todas las soluciones tienen los resultados deseados.

NORMAS DE CALIDAD PARA UN GIRADISCOS

Para giradiscos los parámetros normalizados más importantes son la desviación de velocidad, la fluctuación (*wow* & *flutter*) y el ruido (*rumble*).



Ultimamente, la novedad más importante en alta fidelidad lo constituyen los giradiscos de lectura por laser (audio compact disc), con los que se consigue una calidad sonora excepcional. (Cortesía: Philips).

Desviación de velocidad

La velocidad de giro del plato debe acercarse todo lo posible a la nominal. La técnica ha superado ampliamente los valores mínimos exigidos por las normas y hoy día se barajan valores del orden del 0,2 %. Esta estabilidad debe conservarse durante un tiempo considerable.

Fluctuación

La fluctuación es la variación rápida en la velocidad de

giro del plato. Según su frecuencia se convertirá en gimoteo (*wow*) o centelleo (*flutter*). El wow está producido por imperfecciones en el sistema de tracción, mientras que el centelleo está causado por elementos que giran a distintas velocidades. En la actualidad se alcanzan valores de 0,1 % con facilidad.

Ruido

El ruido es la suma de todas las perturbaciones que acompañan a la señal que suministra la cápsula y que no pertenecen al mensaje musical. Normalmente se habla de relación señal/ruido indicando cuántos decibelios de diferencia hay entre la señal y el nivel de ruido. Para la medida se utilizan dos tipos de circuitos, dando lugar a las dos ponderaciones *A* y *B*.

En todos los giradiscos estos valores superan 35 y 55 dB respectivamente. En aparatos de altas prestaciones se llegan a alcanzar 50 y 70 dB.



Reproductor para compact-disc de Nakamichi. Presenta carga frontal y mando a distancia.

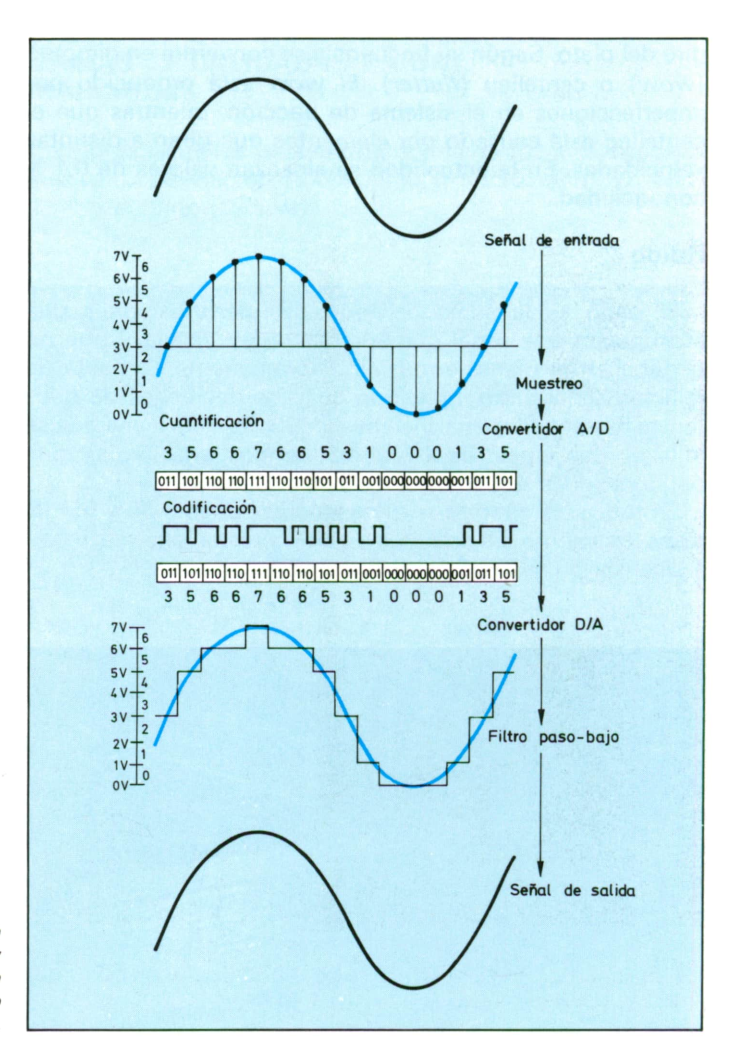


Figura 40. Conversión analógica/digital y digital/analógica. La primera se lleva a cabo mediante el sistema PCM.

EL LECTOR DE DISCO COMPACTO

La difusión de tratamientos digitales de señal ha dado paso a un nuevo sistema de reproducción de sonido en forma de disco. Se trata de los reproductores de discos compactos (*compact disc players*). Los discos que se

reproducen en estos aparatos miden sólo 12 cm de diámetro, están grabados por una sola cara y tienen una duración de una hora. Además, son inmunes a agentes exteriores como el polvo, las huellas dactilares, rayaduras o manipulaciones erróneas.

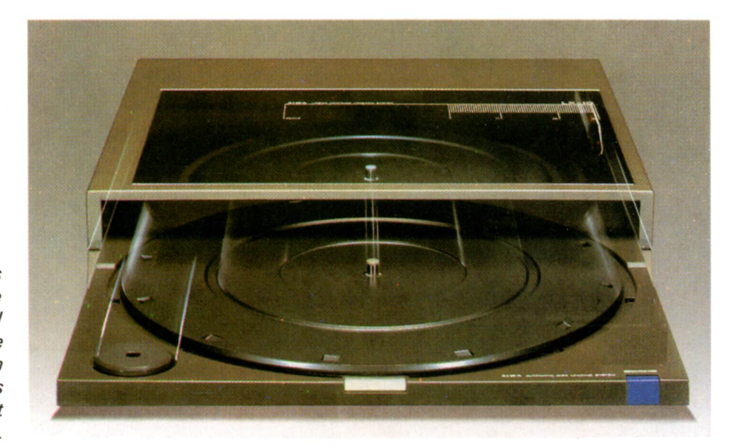


El giradiscos convencional ha adquirido también una estética extraordinaria, gran sofisticación y las mejores características técnicas.

El sistema de grabación de estos discos es la modulación por impulsos codificados (PCM). En la figura 40 podemos ver una señal analógica recorriendo todo el proceso.

Primeramente se transforma esta señal en discreta, es decir, se tendrán los valores de esta señal sólo en momentos determinados. Para ello se realiza lo que se denomina muestreo. Estas muestras se toman de forma periódica. Después de realizar tantas divisiones parece difícil restituir la totalidad de la señal original. Aquí es donde entra en juego el teorema del muestreo, que dice que para que pueda

recuperarse la señal, sin distorsión ni solapamientos, la frecuencia de muestreo debe ser superior al doble de la frecuencia límite de la banda de la señal original.



Uno de los primeros modelos automáticos de giradiscos de carga frontal (Cortesía: AIWA). Este sistema se utiliza con gran profusión en los giradiscos «compact disc».

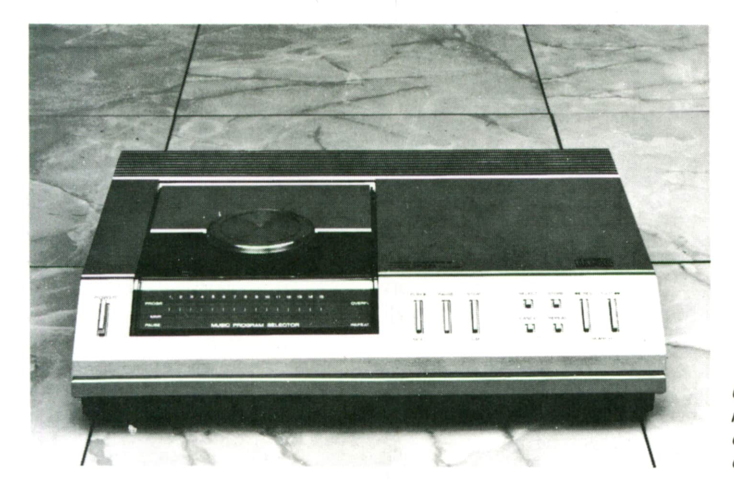
En audio el límite superior es 20 kHz y por eso la frecuencia de muestreo adoptada generalmente es la de 44.100 Hz. Una vez discretizado el tiempo hay que hacer lo propio con la amplitud, con lo que se asigna a cada muestra un valor de amplitud codificada (mediante un conversor digital) en binario.



La lectura láser permite reproducir discos compactos grabados digitalmente. Sus características principales son: pequeñas dimensiones, elevada calidad de reproducción sonora, resistencia al polvo, etc.

Si se compara toda la historia de la grabación del sonido con el desarrollo de los discos de video con lectura óptica, observamos que el lapso de tiempo es sorprendentemente corto.

En 1877 Edison concluyó con éxito su experimento consistente en registrar el sonido y reproducirlo luego utilizando en ambos casos una aguja que actuaba sobre una hoja metálica arrollada a un cilindro. Más tarde, E. Berliner introdujo mejoras en el sistema y adoptó la forma del disco SP; en 1948, Goldmark de la firma CBS desarrolló el disco LP. Cierto tiempo después, el desarrollo de las técnicas de registro y reproducción condujeron a la grabación estereofónica, con lo que la calidad en la reproducción del sonido experimentó notabilísimas mejoras.



Uno de los varios modelos de reproductor de discos compactos de carga superior.

Por otra parte, es de destacar que durante un siglo, el método de registro y reproducción de los discos ha permanecido invariable (habiendo cambiado únicamente en cuanto a recepción y reproducción, pasando del método acústico al eléctrico), ya que la intensidad de la señal de audio se registraba en forma de variaciones de amplitud del surco del disco y la señal se reproducía haciendo pasar la aguja por el surco. Este método convencional presenta defectos y limitaciones en cuanto a la calidad del sonido (problemas de aguja, de cápsula, margen dinámico, gimoteo y titilación «wow-flutter», etc.).

El disco como fuente de programa se considera notablemente inferior a la característica de transmisión de otros componentes (amplificadores y altavoces), por ello se han desarrollado diversos sistemas que registran las señales PCM directamente en el disco y las reproducen en super alta fidelidad, basándose en la utilización de métodos PCM.

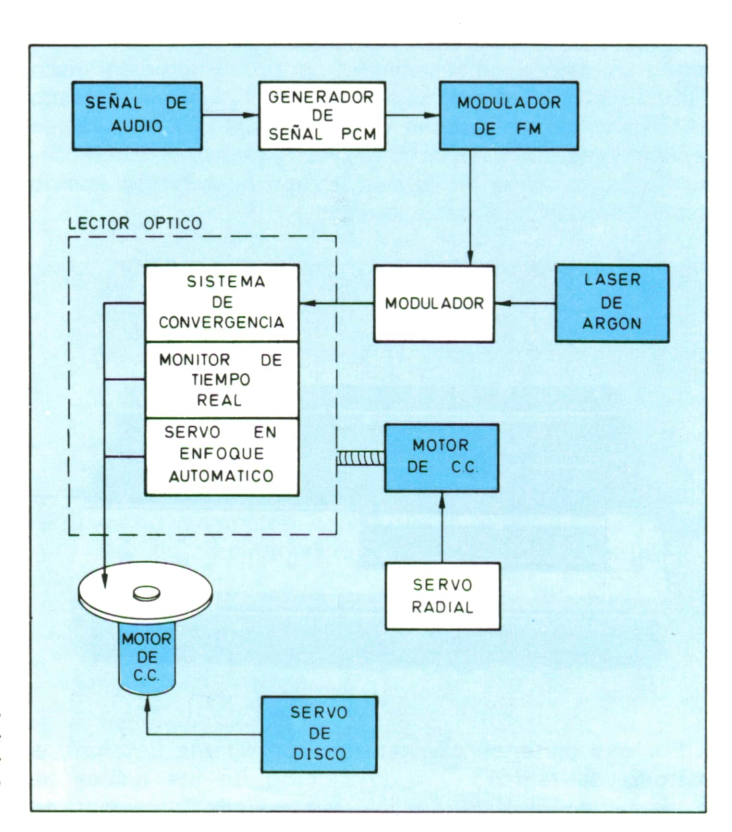


Figura 45. Diagrama de bloques de los circuitos electrónicos necesarios para efectuar la grabación óptica.

Preparación del disco

El sistema de registro comprende el disco, un láser de argón, un modulador óptico, un circuito de señal de grabación, un condensador óptico, un sistema automático de enfoque, un monitor óptico de tiempo real, un sistema servo radial y el servosistema para la rotación del disco.

El disco réplica se realiza mediante una cuidadosa operación de lavado de un disco de vidrio, al cual, una vez seco se le deposita sobre su superficie algunos cientos de amstrong de metal en una de sus caras.

La señal de audio se hace pasar a través de un circuito de codificación PCM para su conversión en señal digital que

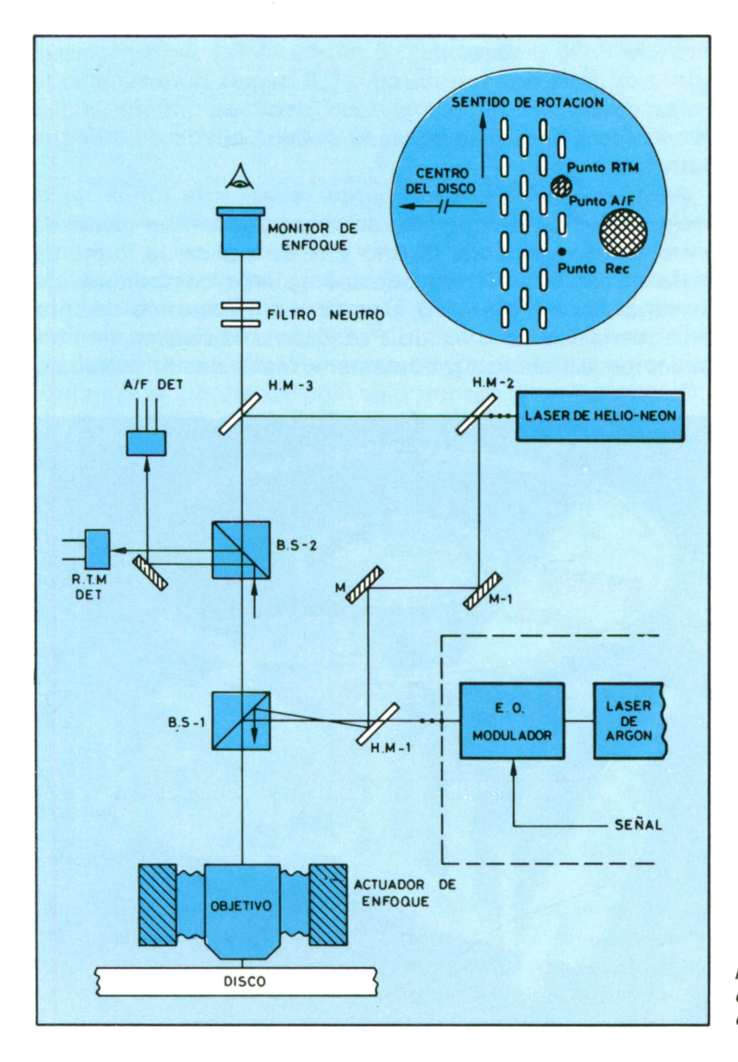
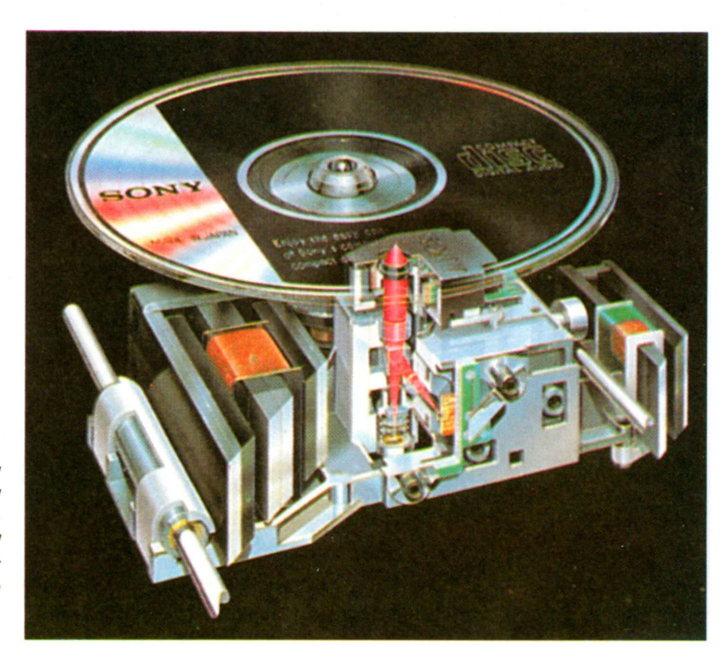


Figura 46. Lector óptico de registrador «compact disc».

posteriormente es convertida en FM modulada, ésta se aplica luego al modulador óptico que trocea el haz continuo de luz procedente del láser de argón. La intensidad del haz correspondiente a la modulación de FM se dirige mediante el condensador óptico (figura 46) hacia un punto de aproximadamente 0,8 micras de diámetro.

La velocidad de giro del disco a 1.800 rpm se controla hasta conseguir una precisión igual o inferior al 0,01 %; la anchura de la pista es de 1,6 micras. A fin de mantener el punto de láser sobre el disco a 0,8 micras de distancia, la profundidad permisible del foco debe ser inferior a 0,5 micras, para lo cual se utiliza el sistema óptico de enfoque automático.

Aunque el diámetro del punto (spot) y la forma de la irregularidad de la superficie del disco puedan ser idénticos entre el disco de corte directo y el de réplica, la forma de onda de la señal de reproducción puede comportarse de forma distinta (figura 48) a causa del mecanismo distinto del sistema de reproducción. Por su parte, el sistema monitor de tiempo real se encarga de mantener fija la relación de trabajo



Reproductor para «compact-disc» que incorpora un motor lineal para seguimiento del tracking y para alta velocidad, con posibilidad de acceder a cualquier punto del disco casi de forma instantánea. (Cortesía: Sony).

Parámetro	*Tocadiscos PCM*	*Tocadiscos convencionales*
Margen dinámico	Mayor de 90 dB	50 – 60 dB
Respuesta en frecuencia	10 Hz-20 kHz y más +0,1 dB, – 0,5 dB	40 Hz-20 kHz ±3 dB
Gimoteo y titilación	Precisión por oscilador de cuarzo	0,03 – 0,1 % Vrms
Distorsión armónica	Inferior al 0,1 %	aprox. 2 % radio externo 1 kHz
Diafonía	Nula	aprox. 30 dB
RPM	1.800	33 1/3
Tiempo de reproducción	30 minutos a 1 hora.	aprox. 30 minutos

Tabla comparativa entre las característica técnias de un giradiscos PCM y uno convencional.

(duty ratio) en la grabación para proporcionar una respuesta óptima del disco de réplica. El disco original obtenido se utiliza luego para realizar el disco maestro, matriz y estampador; a continuación se emplea el estampador para imprimir el cloruro de polivinilo transparente. La superficie grabada, es decir, la superficie sobre la cual se han registrado las señales PCM se somete a un baño de aluminio o de otro metal y luego se recubre con una capa de material plástico.

El disco obtenido se reproduce utilizando un tocadiscos que para realizar la lectura utiliza un haz de láser de helioneón. Las ventajas de este producto frente a los convencionales se resumen en la tabla.

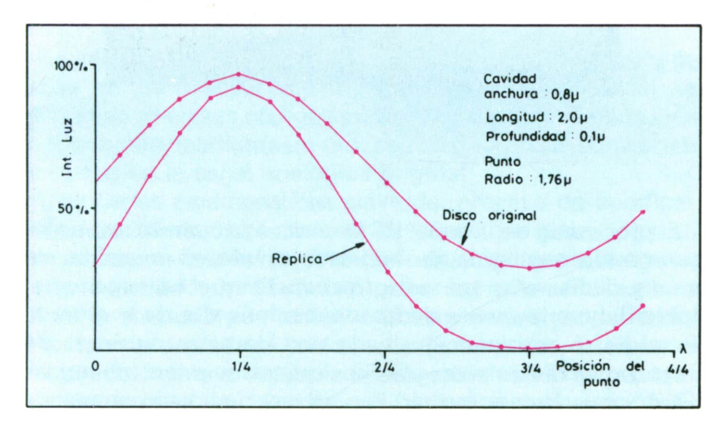


Figura 48. Forma de onda en la reproducción del «compact disc».

Compatibilidad de sistemas: hacia la estandarización

Recientemente, once fabricantes japoneses interesados en la nueva técnica de registro digital para aplicaciones de consumo, acordaron utilizar un sistema codificado lineal de 14 bits trabajando a una frecuencia de muestreo de 44,0556 kHz, lo cual es prueba clara de la tendencia a evitar los problemas originados por el empleo de formatos múltiples, como sucede en el ámbito de los videocassettes y los videodiscos.

Los nuevos sistemas (Philips, TEAC, RCA) utilizan técnicas PCM de muy elevada densidad para procesar las señales de audio, con lo cual se mantiene una frecuencia extremadamente ancha y un gran margen dinámico.



Reproductor digital de sonido de la firma Philips provisto de un sistema de memoria óptica. Carga frontal motorizada y con sencilla programación de hasta 20 piezas musicales. Localización instantánea del tema seleccionado y repetición del fragmento musical preseleccionado.

El procesado de la señal PCM comienza cuando una señal de entrada analógica de audio se divide en muestras de amplitud discretas por una frecuencia que es superior al doble del componente de frecuencia más alta de la entrada de audio; a continuación, cada una de estas muestras de amplitud se divide en segmentos que se cuentan (cuantización) para luego formar (codificar) los segmentos de

impulso cero y uno, correspondientes a cada segmento de muestra de amplitud.

En la práctica, una señal PCM grabada, presenta caídas de señal debido a la presencia de limaduras del material que compone el disco o a polvo en el medio de grabación, lo cual da lugar a la aparición de errores de código. Por esta razón se añaden códigos de corrección de errores.

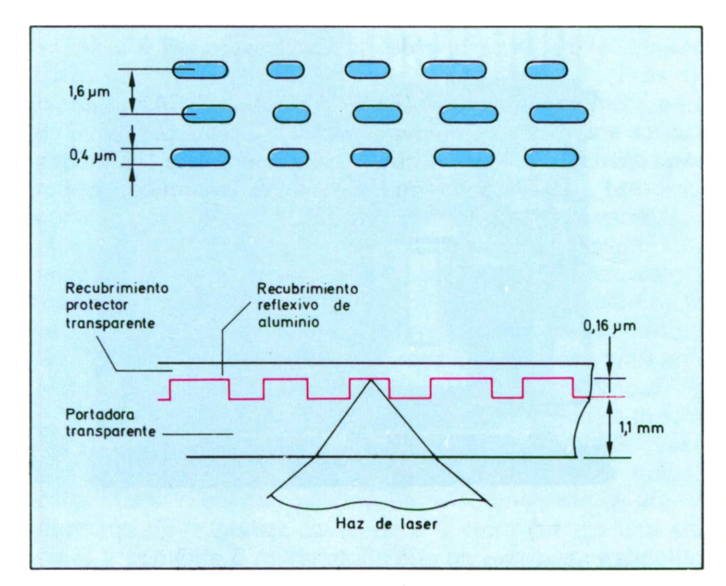
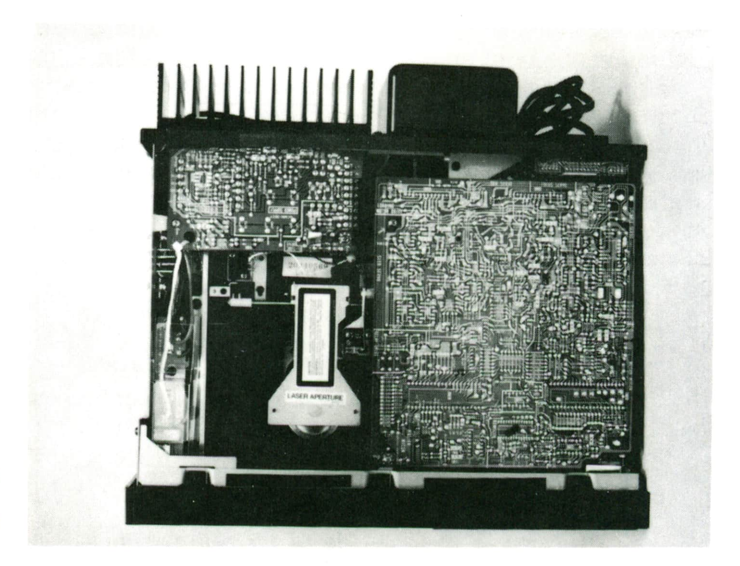


Figura 50. Dimensiones de las pistas y disposición de capas del compact-disc.

La señal PCM así obtenida, se modula en frecuencia y se graba en un disco; para su demodulación, la señal se descompone en sus códigos cero y uno (decodificación) y a continuación, mediante un proceso de filtrado, se convierten de nuevo en la señal analógica original.

Una de las características clave del proceso de codificación/decodificación, radica en su capacidad para volver a convertirse en la señal original de forma totalmente correcta, siempre y cuando puedan distinguirse los valores cero y uno sin verse afectado por los aumentos en el nivel de ruido por la distorsión durante el proceso de transmisión. Además, el margen dinámico se determina única y exclusivamente por el número de bits que componen el código de cuantización. El

registro y reproducción de discos de audio PCM se realiza por láser como vimos en un apartado anterior; no obstante, para fabricar este disco, el proceso PCM puede llevarse a cabo en factorías de impresión de discos convencionales, mediante ligeras modificaciones.



La complejidad de un giradiscos por láser queda patente en el circuito práctico en donde se aprecian las soldaduras de los componentes que intervienen, especialmente circuitos integrados.

Mayores prestaciones

En la actualidad, diversas firmas disponen sistemas de audio digitales en técnica PCM; así la japonesa Sony en noviembre de 1978, presentó en New York su sistema DAD-IX.

El modelo japonés dispone de un código de longitud limitada de alta densidad que le proporciona un tiempo de reproducción envidiable (dos horas y media en una sola cara) sin detrimento alguno de la calidad de audio. El sistema de registro/reproducción de codificación lineal de 16 bits, permite obtener un margen dinámico de 95 dB, distorsión inferior a 0,03 % y un gimoteo indetectable. Asimismo, un código de corrección de errores compensa de forma automática las bajadas de señal así como otros defectos inherentes a la señal digital.

El prototipo de Sony utiliza un disco de una sola cara que gira a 450 r.p.m., es barrido por un láser de He-Ne de baja potencia y presenta la particularidad de poder registrar una señal de referencia entre los diversos programas del disco para la localización automática del comienzo de cada programa.

Sistema Philips

En 1979, la firma holandesa presentó su diseño «Compact Disc» cuyo tamaño es aproximadamente igual al de un reproductor de cassettes portátil. Utiliza un haz de luz a partir de un diodo láser miniatura de AsGaAl que se dirige sobre la superficie del disco. Las pequeñas cavidades del disco (pits) modulan la intensidad del haz reflejado. Un fotodiodo convierte el haz reflejado en una señal eléctrica variable; la reproducción óptica y las señales digitalizadas eliminan la posibilidad de desgaste del disco así como los valores medibles de gimoteo y titilación, el ruido y distorsión de las cápsulas analógicas, las vibraciones, ruido del giradiscos y las vibraciones creadas por simpatía que se presentan en el brazo debido a vibraciones causadas por los altavoces.

En este sistema, cuando se graba un disco maestro, un convertidor A/D muestrea la señal de audio 44.330 veces por segundo y utiliza técnicas PCM lineales para traducir cada muestra en una palabra de 14 bits ya suficiente. La duración de la grabación es de una hora (utiliza una sola cara) y contiene 6 millones de bits en una pista helicoidal. Las cavidades presentan unas dimensiones de aproximadamente 0,4 micras de ancho por 0,6 micras de profundidad; las pistas adyacentes muestran una separación de 1,66 micras (figura 50). La información de canal estéreo derecho e izquierdo se transporta en palabras alternadas a lo largo de la pista sin que exista posibilidad de entremezclarse, con lo cual se obtiene una intensificación de la «imagen» estereofónica.

Hasta la fecha, el disco maestro se ha venido realizando a partir de cintas analógicas, no obstante, Philips espera utilizar cintas estrictamente digitales en un próximo futuro.

El disco maestro consiste en una placa de vidrio recubierta de una capa fotosensible (figura 50); la señal de audio digitalizada, modula el haz de láser, el cual realiza las cavidades y las superficies planas sobre la capa fotosensible

del disco. Las copias se obtienen siguiendo un proceso similar al de los discos magnetofónicos convencionales.

El elemento de láser, encargado de realizar la reproduc-

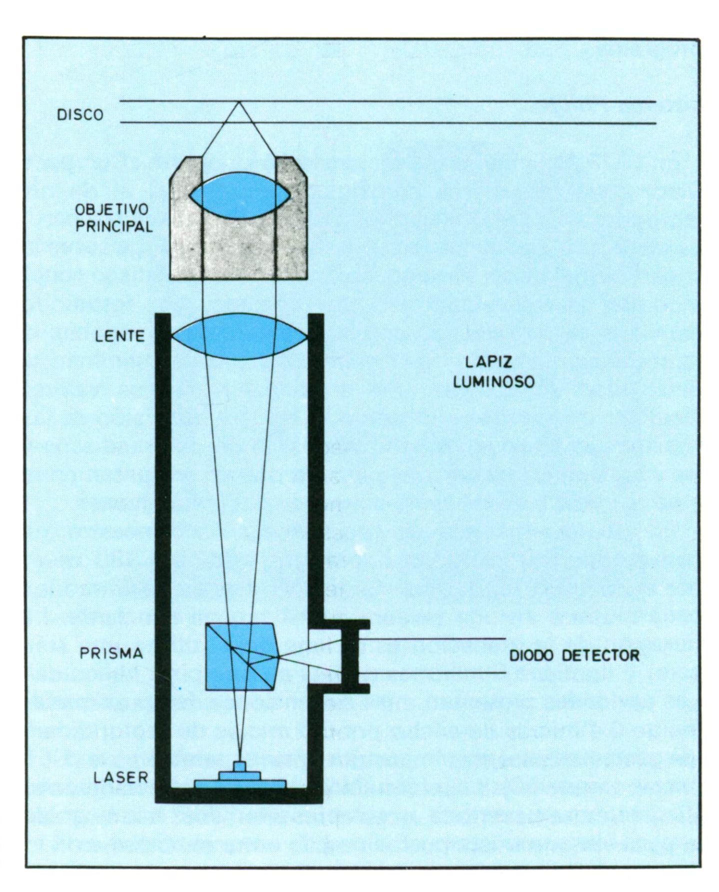


Figura 52. Lector óptico o lápiz luminoso empleado por la firma Philips.

ción del disco, está emplazado en una unidad cilíndrica o lápiz luminoso de 45 mm de longitud, 12 mm de diámetro y 14 gramos de peso (figura 52). Asimismo, este fonocaptor contiene una serie de lentes dispuestas sobre su eje longitudinal que dirigen el haz de láser sobre la pista y captan el haz reflejado hacia un fotodiodo de dos elementos.

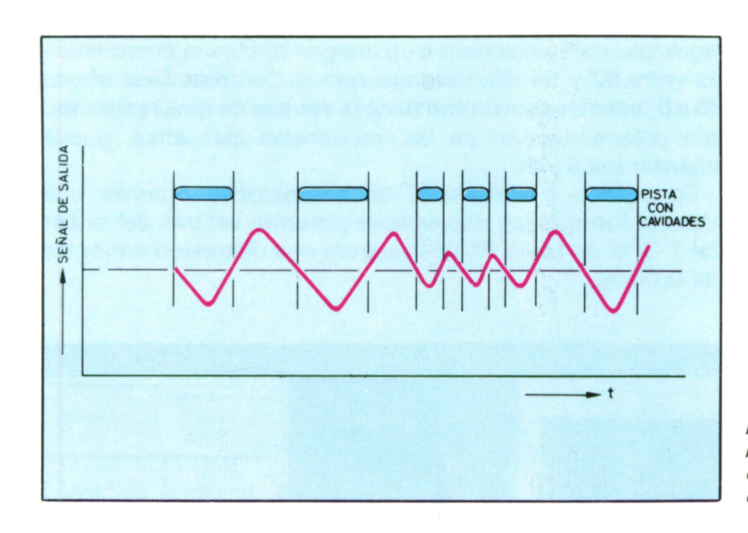


Figura 53. Salida modulada del diodo de detección en el sistema compact-disc.

Montado sobre un brazo de pequeña longitud, el lápiz luminoso sigue la pista en forma radial, dado que un sistema de servocontrol mueve continuamente el brazo a través del disco y mantiene el enfoque necesario.

Las cavidades actúan como difractores de luz, modulando la intensidad del haz de láser reflejado según se difracta la luz en ángulos fuera de la apertura del sistema de lentes (figura 53). El haz modulado se hace pasar a lo largo del eje del lápiz luminoso para dividirlo luego en dos haces mediante un prisma; finalmente, cada haz se dirige directamente hacia el elemento correspondiente del fotodiodo de dos elementos.

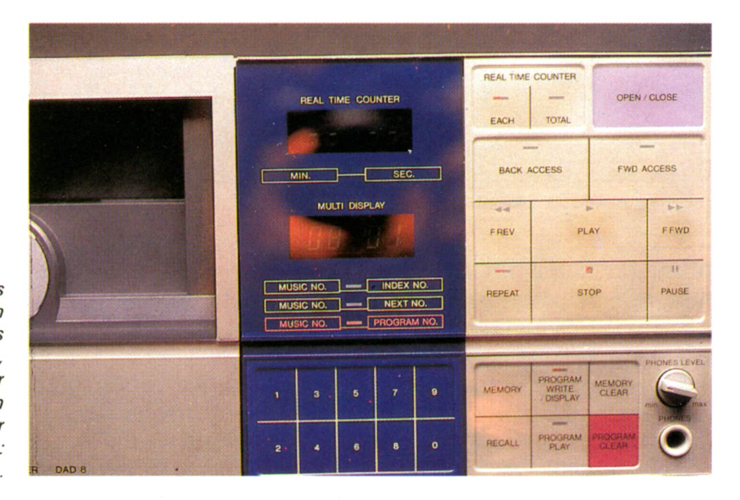
Cuando el haz cae fuera de la pista, las intensidades de salida del fotodiodo se desequilibran produciendo la generación de una señal de error; ésta reajusta las lentes del objetivo empleando un método similar al que controla las vibraciones del diafragma de un altavoz.

Conclusiones

Los discos analógicos presentan una relación S/R máxima comprendida entre 65 y 70 dB; el modelo comentado en el párrafo anterior ofrece 85 dB. En condiciones óptimas, los

registros analógicos tienen un margen dinámico comprendido entre 62 y 64 dB, mientras que el Compact Disc ofrece 85 dB, además este último tiene la ventaja de que, realizando una preacentuación de las frecuencias más altas, puede alcanzar los 91 dB.

En cuanto a distorsión, en condiciones óptimas una cápsula fonográfica usualmente presenta valores del orden del 1-3 %, en tanto Philips asegura una distorsión armónica del 0,05 %.



En los equipos modernos de audio, van desapareciendo los mandos de tipo mecánico, que son sustituidos por modelos del tipo «touch control» (control por contacto). Cortesía: Sanyo.

Las ventajas de los sistemas de lectura óptica frente a los convencionales pueden resumirse en los siguientes puntos:

— Ausencia de desgaste del disco o del fonocaptor.
— Grabación inmune a la suciedad.
— Disco de tamaño reducido.

Es evidente que el futuro de los «compact disc» es enormemente prometedor. En la actualidad son ya muchos los fabricantes que presentan nuevos modelos con mejores prestaciones y precios más reducidos. En los próximos años, estos equipos se popularizarán más y más, gracias a los nuevos avances tecnológicos y a una previsible drástica reducción de precios.



